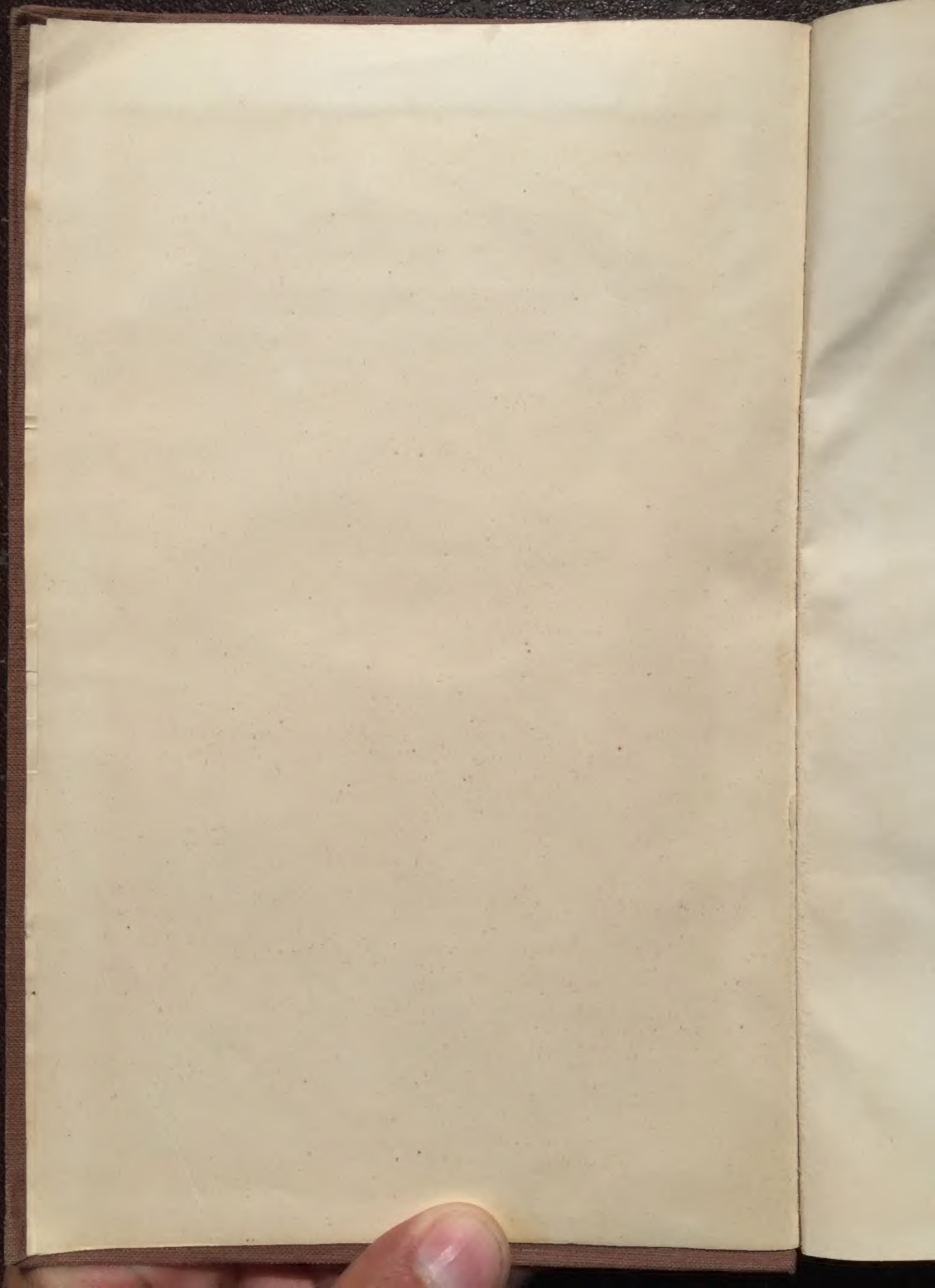


**ФИЗИОЛОГИЯ
ЧЕЛОВЕКА
В ПУСТЫНЕ**



ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА В ПУСТЫНЕ

Сборник статей под редакцией

Э. АДЛЬФА

Перевод с английского
Ф. В. ШАПИРО

Под редакцией и с предисловием
действ. члена АМН проф. А. А. ЛЕТАВЕТА

И * Л

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва — 1952

PHYSIOLOGY OF MAN
IN THE DESERT

BY
E. F. ADOLPH AND ASSOCIATES

1947

Л
И
Т
О
Н
В
Т
Л
Н
Н
Г
Л
Л
Д
В
М
В
Т
В
В

3 Изборцов. летного исчисления 87,
 гинера тифа на марше - 18.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
44	11 сн.	10 час.	13 час.
57	Подпись под рис. 26, 4 сн.	в тени;	ночью;
72	Табл. 4, 3 столбец	144 44 2-0	14 144 2
76	11 св.	12 см	120 см
102	6 сн.	$\pm 4,3$ мр/л	$\pm 4,3$ мм/л
120	1 св.	4-7 л	4,7 л
127	9 св.	4,7%	4-7%
128	14 сн.	1 510 см ³	1 510 см ³
239	Табл. 37, при- мечания, 8 св.	3-процентного	0,3-процентного
275	21-22 св.	не есть сладостей или есть их только в неболь- ших количествах.	не есть или есть только небольшое количество сладостей.
285	14-15 сн.	величина потоотделения, при которой наступал водный дефицит, была также выше	водный дефицит был также выше.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие к русскому изданию.	3
Наглядная схема теплообмена	7
Г л а в а I. Краткое содержание исследований (Э. Адольф и Г. Ран) . .	11
Теплообмен человека	11
Потребность человека в воде	16
Экономия воды	17
Недостаток воды	20
Г л а в а II. Организм человека в условиях пустыни (Э. Адольф)	23
Что представляют собой пустыни?	23
Общая характеристика проведенных исследований	26
Наши экспедиции в пустыню	27
Климат пустыни	29
Литература	36
Г л а в а III. Теплообмен, образование пота и водный обмен (Э. Адольф)	37
Физическая работа	38
Водный обмен	39
Потеря воды организмом человека	40
Образование пота	41
Кругооборот воды	43
Литература	48
Г л а в а IV. Потоотделение в условиях пустыни (Р. Госселин)	49
Влияние веса тела	50
Влияние величины поверхности тела	52
Другие причины колебаний величин потоотделения	54
Влияние температуры воздуха	55
Влияние влажности воздуха и скорости ветра	58
Влияние солнечной радиации	59
Влияние одежды	62
Физическая работа	63
Максимальные величины потоотделения	65
Влияние обезвоживания организма	65
Выводы	69
Приложение I	
Зависимость между величиной потоотделения и весом тела	71
Приложение II	
Зависимость между потоотделением и температурой воздуха . . .	75
Приложение III	
Потоотделение при обезвоживании организма в пустыне	79
Приложение IV	
Потоотделение при полетах на различной высоте	81
Литература	84
Г л а в а V. Теплообмен в условиях пустыни (Р. Госселин)	85
Экспериментальная методика и расчеты	86

Теплообмен одетых испытуемых, находящихся на солнцепеке . . .	93
Теплообмен полуобнаженных испытуемых, находящихся на солнцепеке . . .	96
Поступление в организм человека лучистого тепла в условиях пустыни . . .	99
Зависимость между количеством тепла, поступающим из окружающей среды, и потоотделением . . .	103
Выводы . . .	105
Литература . . .	106
Глава VI. Выведение с мочой воды и солей (Э. Адольф) . . .	108
Мочеотделение . . .	108
Концентрация мочи . . .	114
Выведение растворенных веществ . . .	116
Потребность в соли . . .	118
Можно ли сберечь воду путем уменьшения мочеотделения? . . .	121
Литература . . .	123
Глава VII. Потребление жидкости в пустыне (А. Браун) . . .	124
Обычный способ потребления питьевой воды . . .	125
Потребление воды солдатами в лагерной обстановке . . .	126
Потребление воды солдатами во время маневров . . .	127
Влияние временного водного дефицита на потребление жидкости . . .	128
Глава VIII. Потребность человека в воде в условиях пустыни (А. Браун) . . .	130
Факторы, влияющие на потребность человека в воде . . .	131
Определение потребности в воде путем расчетов . . .	136
Экономия питьевой воды в пустыне . . .	137
Уменьшение потребности в воде . . .	140
Испарение воды в целях кондиционирования воздуха . . .	145
Выводы . . .	146
Литература . . .	151
Глава IX. Недостаток воды в условиях пустыни (А. Браун) . . .	152
Проявления обезвоживания организма во время походов . . .	155
Факторы, ограничивающие выносливость человека . . .	157
В каких случаях следует идти на поиски воды . . .	160
Какое расстояние и за какое время может пройти человек в состоянии обезвоживания организма . . .	160
Наиболее эффективное использование ограниченного запаса воды . . .	164
Прием избыточного количества воды перед началом похода . . .	169
Причины индивидуальных различий в выносливости . . .	171
Возможно ли выработать привычку к недостаточному снабжению водой? . . .	171
Реальность наших прогнозов относительно выносливости человека в походе . . .	171
Выводы . . .	175
Литература . . .	176
Глава X. Изменения крови при обезвоживании организма (Э. Адольф) . . .	177
Объем крови . . .	177
Общая концентрация сыворотки крови . . .	179
Концентрация отдельных веществ в крови . . .	184
Обсуждение . . .	187
Выводы . . .	188
Литература . . .	189
Глава XI. Кровообращение и температура тела при обезвоживании, вызванном действием высокой температуры (А. Ротштейн и Э. Таубин) . . .	190

Частота пульса в условиях пустыни	191
Факторы, вызывающие учащение пульса	192
Колебания в частоте пульса	198
Кровообращение при обезвоживании организма	198
Температура тела в условиях пустыни	209
Зависимость между частотой пульса и температурой тела	214
Практическое применение описанных данных	217
Литература	218
Г л а в а XII. Относительное влияние высокой температуры, работы и обезвоживания организма на кровообращение (<i>А. Браун и Э. Таубин</i>)	219
Литература	230
Г л а в а XIII. Дегидратационное истощение (<i>А. Браун</i>)	231
Сильное обезвоживание организма	231
Синдром истощения в условиях пустыни	240
Почему наступает состояние истощения?	242
Синдром дегидратационного истощения	246
Последствия дегидратационного истощения	250
Литература	251
Г л а в а XIV. Признаки и симптомы обезвоживания организма в пустыне (<i>Э. Адольф</i>)	252
Количественные показатели	255
Обсуждение	260
Смерть от обезвоживания организма	262
Выводы	265
Литература	266
Г л а в а XV. Жажда (<i>Э. Адольф и Дж. Уиллс</i>)	267
Ранние исследования	267
Дополнительные наблюдения	269
Слюноотделение	271
Прием пищи и жажда	272
Облегчение жажды	275
Выводы	279
Литература	280
Г л а в а XVI. Непроизвольное обезвоживание организма (<i>А. Ротштейн, Э. Адольф и Дж. Уиллс</i>)	281
Степени произвольного обезвоживания организма в полевых условиях	281
Некоторые факторы, влияющие на произвольное обезвоживание организма	283
Жажда как показатель обезвоживания организма	290
Принудительное питье — средство против произвольного обезвоживания	291
Восстановление нормального водного баланса в организме	294
Выводы	299
Литература	299
Г л а в а XVII. Возможная продолжительность существования в пустыне без питьевой воды (<i>А. Браун</i>)	300
Г л а в а XVIII. Потеря воды у людей, находящихся в спасательных резиновых лодках (<i>А. Браун, Р. Госселин и Э. Адольф</i>)	304
Условия опыта	305
Потоотделение	306
Влияние метеорологических условий	311

Изменения мочеотделения на начальных стадиях обезвоживания организма	312
Суточная потеря веса тела	313
Вычисление величины потери воды	314
Дождь как источник питьевой воды	316
Степень обезвоживания организма на море	317
Продолжительность существования без воды	319
Выводы	324
Литература	324
Глава XIX. Физиологическое состояние людей в условиях пустыни и тропиков (Дж. Молнар)	325
Сравнение климата тропиков и пустыни	325
Физиологическое выражение тепловой нагрузки	326
Физиологическая нагрузка организма в условиях пустыни и тропиков	331
Литература	335
Глава XX. Жизнь в пустыне (Э. Адольф)	336
Выносливость	336
Акклиматизация	339
Патологические состояния у людей в пустыне	345
Литература	347
Глава XXI. Выводы и заключения (Э. Адольф и А. Браун)	348
Обезвоживание организма	349
Общие выводы	351
Практические выводы	353
Литература	356

Страница	
44	1
57	Пол
72	рис
76	3
102	
120	
127	
128	Та
239	ме
275	
285	
	Сб. ст

Редактор И. В. Цоглина

Технический редактор Б. И. Корнилов

Сдано в производство 11/VIII 1952 г.

Подписано к печати 29/X 1952 г.

A07636. Бумага 60×92¹/₁₆ = 11,3 бум. л. – 22,6 печ. л.

Уч.-изд. л. 22.9 Изд. № 4/1433

Цена 17 р. 55 к. Зак. 619

20-я типография «Союзполиграфпрома» Главполиграфиздата
при Совете Министров СССР,
Москва, Ново-Алексеевская, 52.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

В книге Э. Ф. Адольфа и сотрудников изложены результаты обширных физиологических исследований, проведенных в пустынях юго-восточной Калифорнии и Колорадо в 1942—1945 гг. Как видно из изложения, основными объектами наблюдения были солдаты различных воинских частей (саперных, бронетанковых и др.) в период маневров в условиях пустыни. В зимние месяцы исследования велись в Рочестерском университете в специальных тепловых камерах лаборатории по изучению пустыни.

Книга насыщена большим фактическим материалом, особенно по вопросам перегрева и обезвоживания организма в условиях жаркого климата пустыни. В этом и заключается ее основная ценность.

Здесь же необходимо отметить крайнюю тяжесть и, более того, жестокость многих из проводившихся опытов. Как видно из книги, при опытных походах в пустыне в сентябре 1942 г. температура тела некоторых испытуемых повышалась до $39,9^{\circ}$, имели место обморочные состояния, достигались крайние степени обезвоживания. Еще более тяжелыми были опыты на людях, проводившиеся в тепловых камерах университета в Рочестере. Здесь температура тела испытуемых повышалась до $40,3^{\circ}$, дефицит воды достигал 10% по отношению к весу тела. Такие состояния организма нельзя не признать опасными для жизни и здоровья. Постановка подобных экспериментов не укладывается в общепринятые нормы гуманности при постановке физиологических наблюдений на людях.

Нельзя также не отметить, что эта книга о физиологии человека в пустыне, написанная физиологами, отражает общий дух милитаризма и колониальной экспансии, господствующий в США.

Основной принципиальный вывод авторов книги, подкрепляемый конкретными материалами наблюдений и исследований в условиях пустыни, но идущий в известной мере вразрез с общепринятыми представлениями, заключается в том, что нет никаких оснований для ограничения потребления воды при деятельности человека в условиях пустыни, что дефицит воды в организме, вызванный

отказом от питья, ведет только к более быстрому развитию состояния истощения организма, что нужно пить столько воды, сколько хочется. Эти основные положения повторяются в книге многократно и в различных вариантах.

Бесспорно, что в условиях пустыни при огромной инсоляции, когда температура воздуха, почвы и окружающих предметов превышает 33° , единственным средством для сохранения постоянства температуры тела человека является испарение пота. При этом за счет испарения пота должно расходоваться не только тепло, образующееся в самом организме при деятельном его состоянии, но и тепло, получаемое им от солнечного излучения, от нагретого воздуха и излучения нагретых поверхностей. В условиях сухого воздуха пустыни почти никогда не приходится наблюдать профузного, неэффективного потения; пот быстро испаряется и тем самым освобождает организм от избыточного тепла. Выпиваемая вода, естественно, должна в полной мере и в короткие сроки возмещать организму количество воды, потерянное с потом. Нарастающий дефицит воды в организме будет вести к падению работоспособности и развитию состояния изнуренности.

Таким образом, основное общее положение автора о нецелесообразности ограничения питья воды в условиях пустыни не вызывает с нашей стороны возражений. Однако помимо общего количества выпиваемой воды, весьма существенное значение имеют режим питья (частота, объем отдельных порций воды), температура воды и ее солевой состав. Этим вопросам авторы не уделяют должного внимания и с этим нельзя согласиться. Едва ли беспорядочное, хаотическое питье, в отношении как частоты, так и количества выпиваемой за один раз воды будет полезным. Как показывают наблюдения в производственных условиях, умеренные степени водного дефицита, устанавливающиеся уже в начале работы, являются допустимыми с точки зрения физиологии и не влекут за собой каких-либо отрицательных явлений.

В книге почти не затронут вопрос о солевом балансе, в частности вопрос о потерях и возмещении хлоридов. При наблюдающихся в условиях пустыни огромных величинах потоотделения неизбежно должны были происходить большие потери хлоридов, с трудом возмещаемые поваренной солью, принимаемой с пищей. Возможно, что в условиях солончаковой пустыни сама питьевая вода содержала избыточное количество хлоридов. К сожалению, этот очень важный вопрос физиологии человека в пустыне остался в книге не освещенным.

На всей книге лежит отпечаток механистического толкования физиологических отклонений человека, рассматриваемых только с позиций энергетических процессов. Роль нервной системы в крайне сложных и в высшей степени напряженных процессах терморегуляции в условиях пустыни не нашла в книге никакого осве-

щения. Между тем, как известно из физиологического учения И. П. Павлова, именно через центральную нервную систему и ее высший отдел — кору головного мозга — осуществляется процесс уравнивания организма с условиями внешней среды. Обширные же исследования советских физиологов школы академика К. М. Быкова (А. Д. Слоним, Р. П. Ольянская и др.) показали, что в регуляции температуры тела у животных и человека огромную роль играют кортикальные механизмы.

Наша страна в небывалых в истории человечества масштабах ведет мирную работу по освоению пустынь, по возвращению для жизни, счастья и труда людей огромных пространств земли, погребенных под песками. Построен Волго-Донской судоходный канал с водохранилищами и оросительными каналами для орошения и обводнения полупустынь юго-востока. Начато строительство величайшего сооружения современности по освоению пустынь — Туркменского канала, основная часть которого будет пролегать через пески Кара-Кумской пустыни. Ведутся работы по сооружению Сталинградского гидроузла, оросительные каналы которого будут нести влагу и жизнь пустыням и полупустыням нижнего Заволжья.

Советские люди в своем повседневном мирном труде по освоению пустынь уже вплотную встретились с условиями жаркого климата пустынь. И перед деятелями науки — физиологами и гигиенистами, и перед практическими работниками здравоохранения, и перед инженерно-техническими и хозяйственными работниками стоит важнейшая задача по созданию в пустыне таких условий и режима труда и быта, которые обеспечили бы максимальную работоспособность и сохранение здоровья работающих.

Советские физиологи и гигиенисты своими исследованиями положили основу для проведения в так называемых горячих цехах промышленности целой системы мероприятий по профилактике перегреваний (питьевой режим, воздушные души, помещения для отдыха и пр.). В результате осуществления этих мероприятий, в сочетании с механизацией трудоемких процессов, в летний период в горячих цехах наших металлургических и машиностроительных заводов исчезли случаи острых перегреваний и тем более «судорожной болезни», вызываемой нарушениями водно-солевого обмена.

Не приходится сомневаться, что на основе огромного опыта работы в горячих цехах промышленности и на основе специальных исследований, которые развернуты нашими гигиенистами и физиологами как в лабораториях институтов, так и непосредственно на строительстве Туркменского канала, эти сложные и трудные вопросы будут успешно разрешены также и применительно к строительным работам, ведущимся в жарких пустынях и полупустынях.

Несмотря на указанные недостатки, на неполноту изложения вопроса и спорность некоторых трактовок, книга Э. Ф. Адольфа и сотрудников будет, несомненно, полезной для различных категорий работников, в той или иной мере соприкасающихся с проблемами жизни и труда в условиях пустыни, благодаря содержащемуся в ней обширному и разнообразному фактическому материалу.

При переводе книги допущены незначительные сокращения и произведен перевод мер на метрические.

А. Летавет.

Сохране
смазывать
способность
должна быть
хорошее с



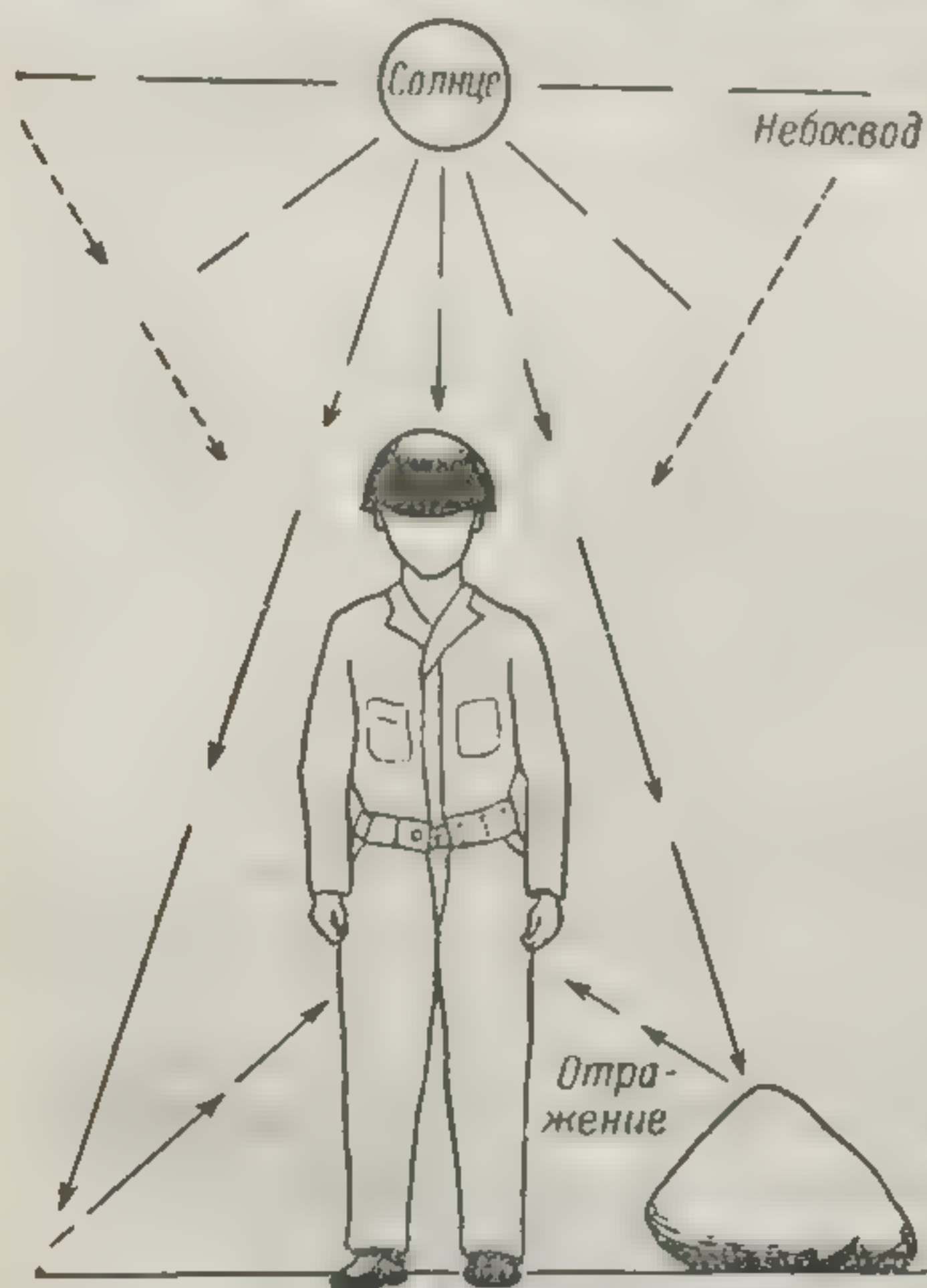
Fig. 1. Поступление
луч н

и отдает тепло. И
ла, т. е. к коже
дирующей кров
наблюдается тем, что
сатура, чем внут
изать, что чело
ла поверхнос

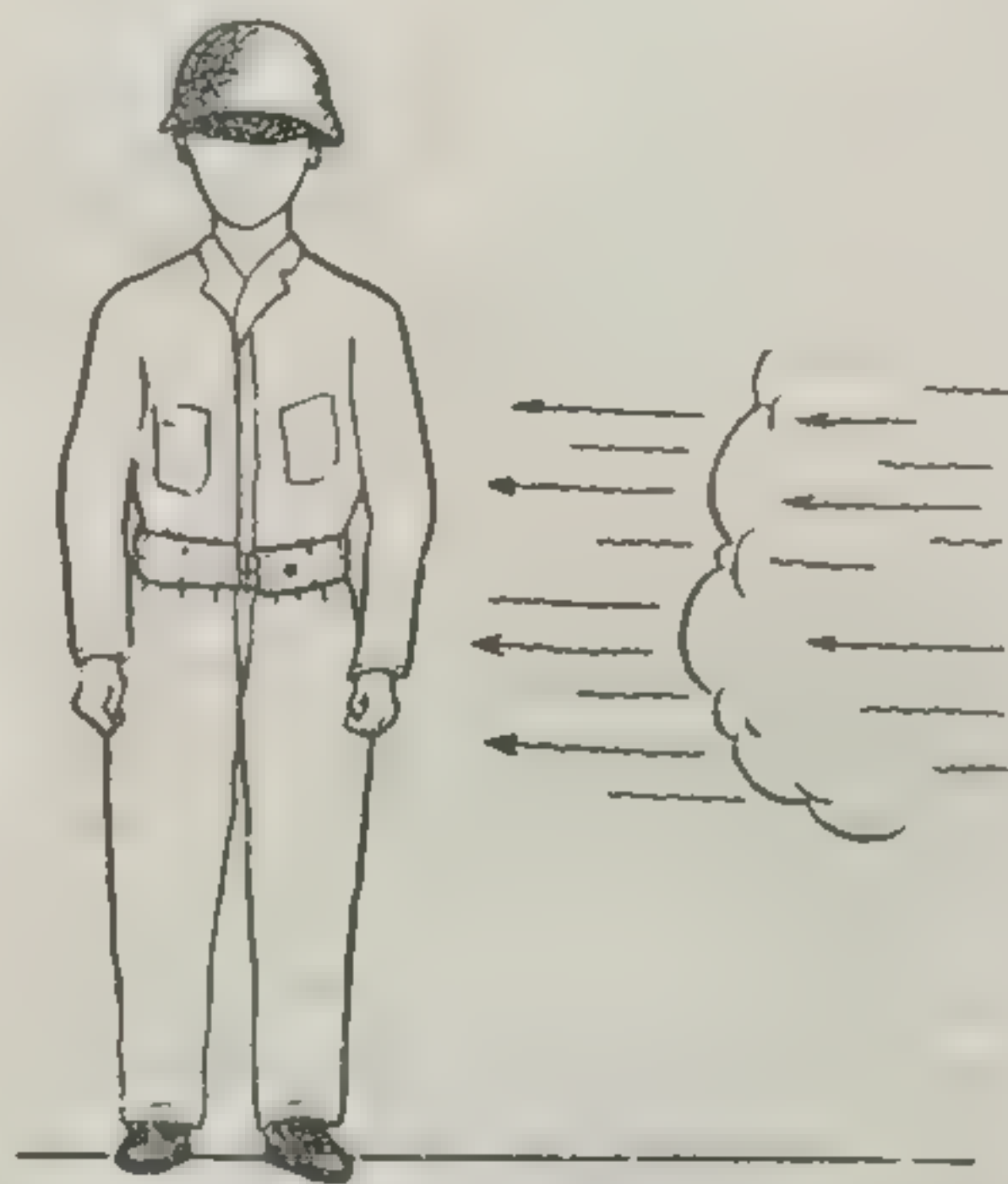
НАГЛЯДНАЯ СХЕМА ТЕПЛООБМЕНА

Сохранение работоспособности в условиях пустыни можно рассматривать как проблему терморегуляции. Для того чтобы работоспособность была максимальной, температура внутренних органов должна быть $36,5-37,5^{\circ}$. Повышение температуры вызывает лихорадочное состояние с сопутствующими ему хорошо известными

нарушениями нормальных функций. Поэтому очень важно ясно представлять себе, какими путями тело человека получает



Фиг. 1. Поступление тепла путем излучения.

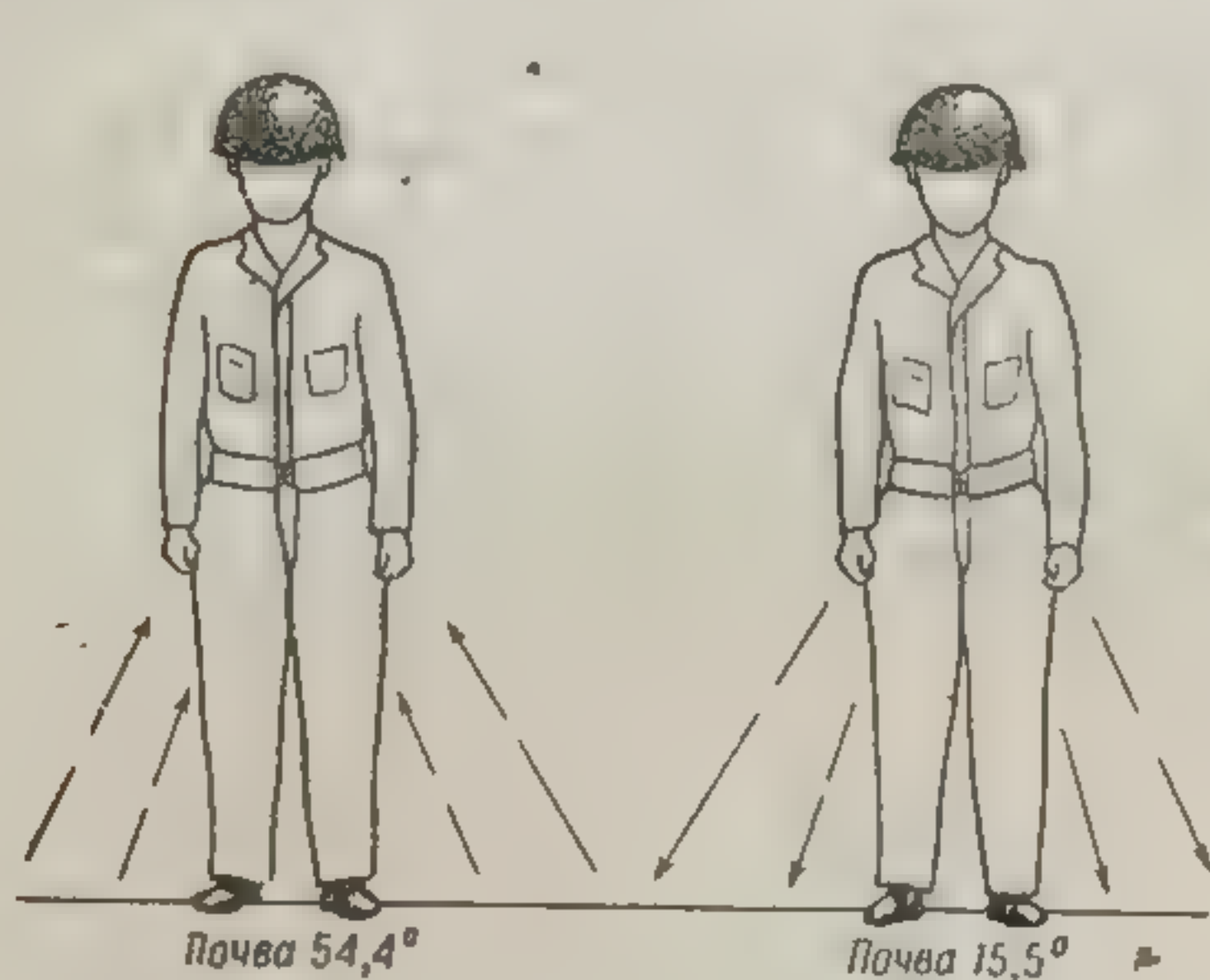


Фиг. 2. Поступление тепла путем конвекции.

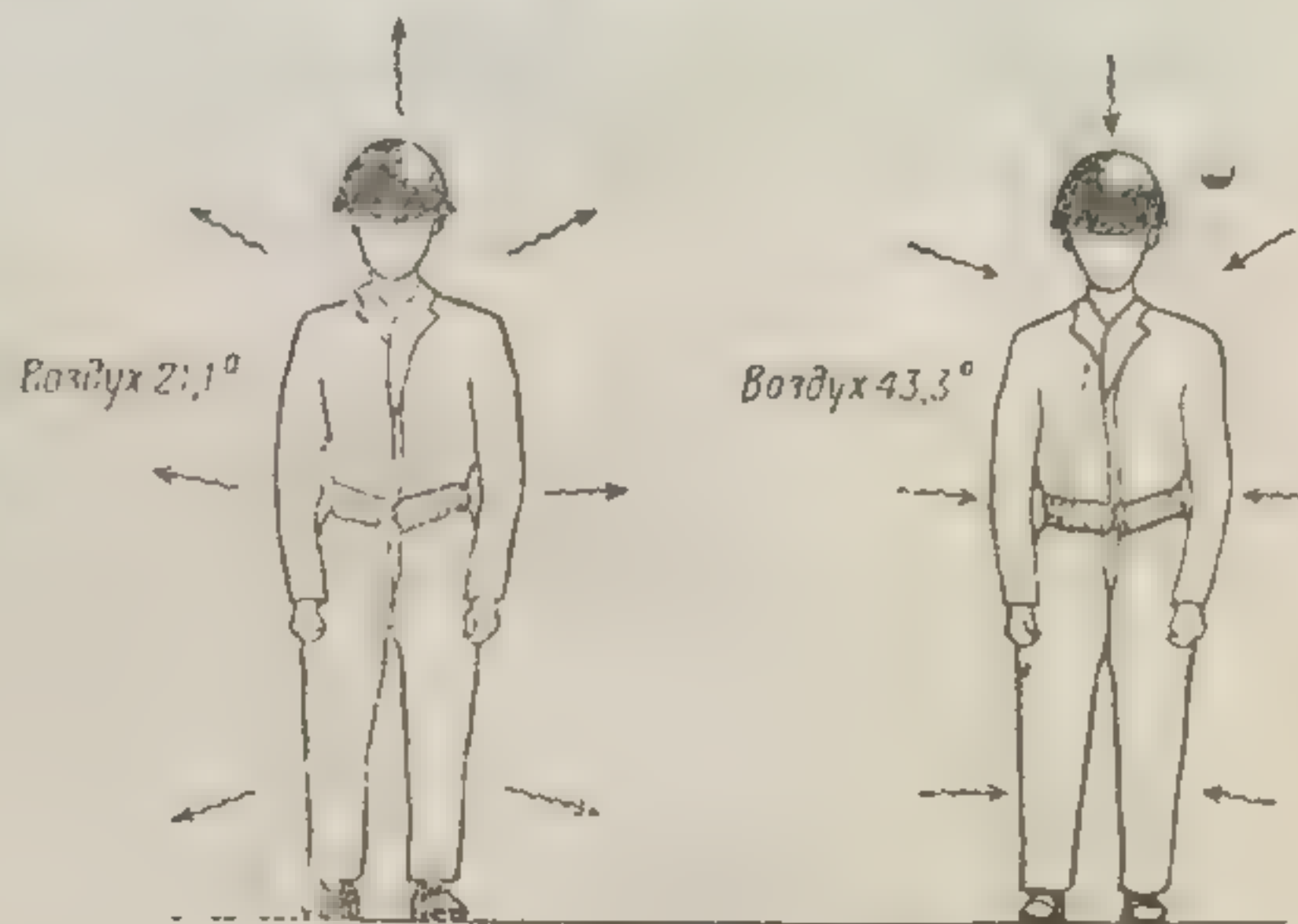
и отдает тепло. Из организма тепло выводится на поверхность тела, т. е. к коже, и эта передача производится, в основном, циркулирующей кровью. Возможность такой передачи тепла обеспечивается тем, что кожа, как правило, имеет более низкую температуру, чем внутренние ткани, а именно: около 33° . Можно сказать, что человек чувствует себя лучше всего, когда температура поверхности его тела равна 33° .

Поступление тепла. Тело человека получает тепло несколькими путями (фиг. 1). Оно поглощает значительное количество тепловой энергии непосредственно от солнечной радиации. Количество поглощенной таким образом энергии не зависит от температуры воздуха. Кроме того, солнце нагревает почву и камни, и они, в свою очередь, отражают и излучают тепло. Это явление мы называем «вторичным, или почвенным излучением». Небосвод также дает отраженное излучение.

Затем имеет значение температура самого воздуха. Когда она превышает 33° , молекулы воздуха отдают тепло коже, и этот процесс мы называем «нагреванием за счет конвекции» (фиг. 2).



Фиг. 3. Тепловой обмен при различной температуре почвы.



Фиг. 4. Тепловой обмен при различной температуре воздуха.

И, наконец, нужно учитывать тепло, которое образуется в самом организме человека в результате процессов обмена. Мы по собственному опыту знаем, что чем интенсивнее мы работаем, тем большее количество этого тепла образуется.

К сожалению, в обычных условиях пустыни все эти факторы действуют одновременно, и человек, идущий по солнцепеку при температуре воздуха выше 33° , получает тепло, образующееся за счет процессов обмена плюс тепло солнечной радиации и излучения от почвы, небосвода и конвекции. Все это тепло мы называем «общей тепловой нагрузкой». В таких условиях у человека быстро наступает лихорадочное состояние, если только это тепло не будет отдаваться по мере его поступления.

Отдача тепла. В тех случаях, когда температура воздуха и почвы ниже 33° (т. е. ниже температуры кожи), тело человека может отдавать тепло, излучая его в окружающее пространство и передавая путем конвекции воздуху (фиг. 3, 4). Именно таким образом совершается теплоотдача в умеренном климате. В пустыне в течение жаркой части дня эти процессы не могут иметь места, и теплоотдача

Выделение
для того, чтоб
о том, сколько
чи и как быст
Когда темп
отда 14 тепла

совершается только путем испарения воды или пота. Эта отдача тепла путем испарения является основным условием, дающим человеку возможность существовать в пустыне.

Охлаждение путем испарения можно лучше всего продемонстрировать на примере мешка для воды — постоянного спутника путешественников по пустыне. Этот мешок сделан из грубой ткани, через которую постоянно просачивается и испаряется некоторое количество воды.

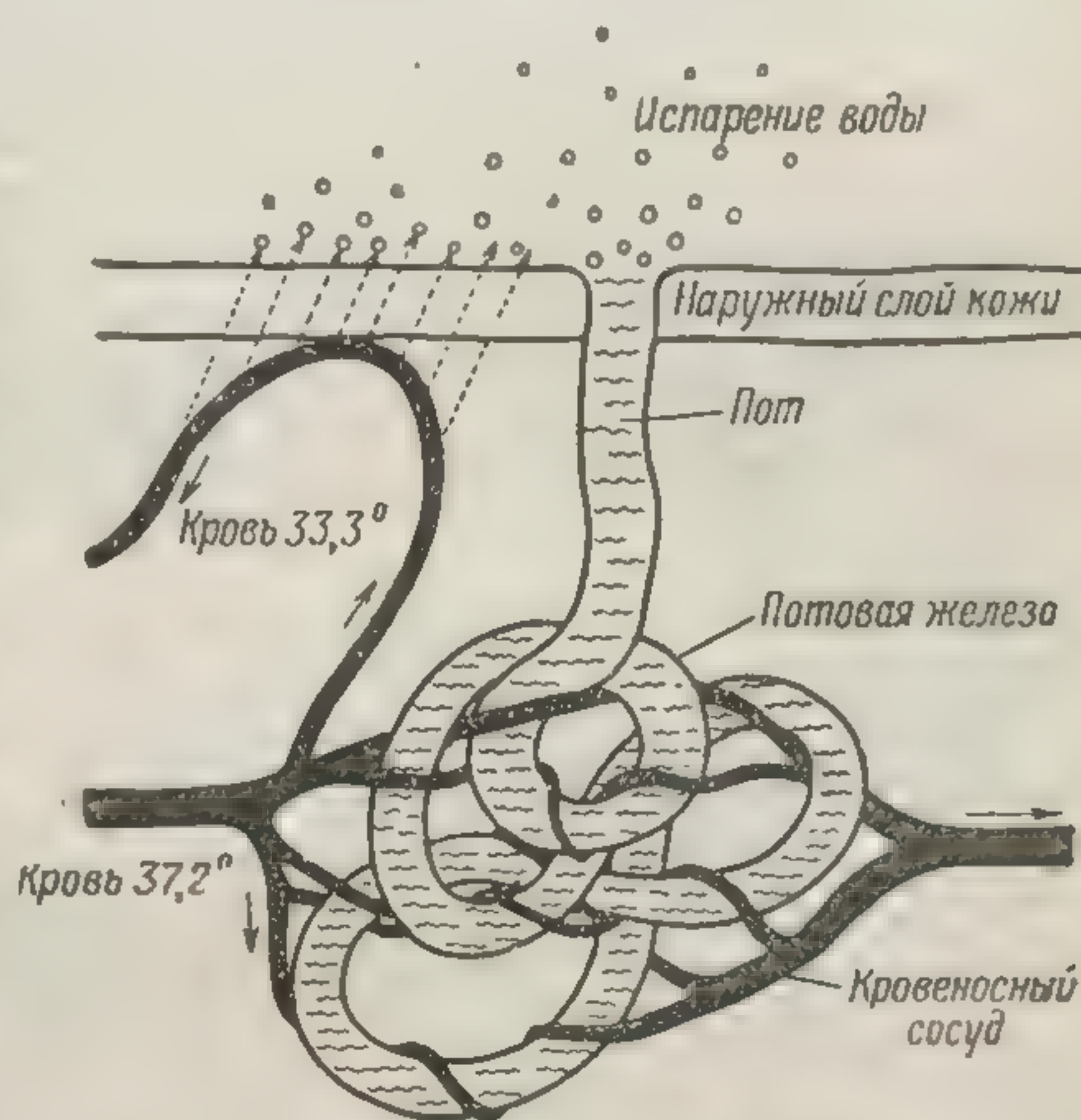
Испарение этой воды охлаждает остающуюся в мешке воду. Если прекратить это просачивание или перелить воду в какой-нибудь сосуд, например фляжку, то она быстро нагревается и температура ее уравнивается с температурой воздуха. Другими словами, за сохранение прохлады нужно расплачиваться потерей воды.

Охлаждение тела человека при выделении пота и представляет собой отдачу тепла за счет испарения. На поверхности нашего тела расположено более двух миллионов потовых желез, которые постоянно выделяют воду (процесс потоотделения). При испарении этой воды кожа охлаждается и, в свою очередь, охлаждает кровь, приносящую к ней тепло из внутренних органов (фиг. 5).

В сухой атмосфере пустыни пот испаряется настолько быстро, что кожа может казаться совершенно сухой, и это создает ошибочное представление о том, что пота выделяется очень мало. Однако просто положив на минуту ладонь одной руки на другую, для того чтобы помешать испарению, можно легко убедиться в том, что в действительности все время выделяется много пота.

Выделение пота. Все предыдущие рассуждения были необходимы для того, чтобы можно было в полной мере понять важность вопроса о том, сколько воды требуется человеку для нормальной теплоотдачи и как быстро эта вода расходуется.

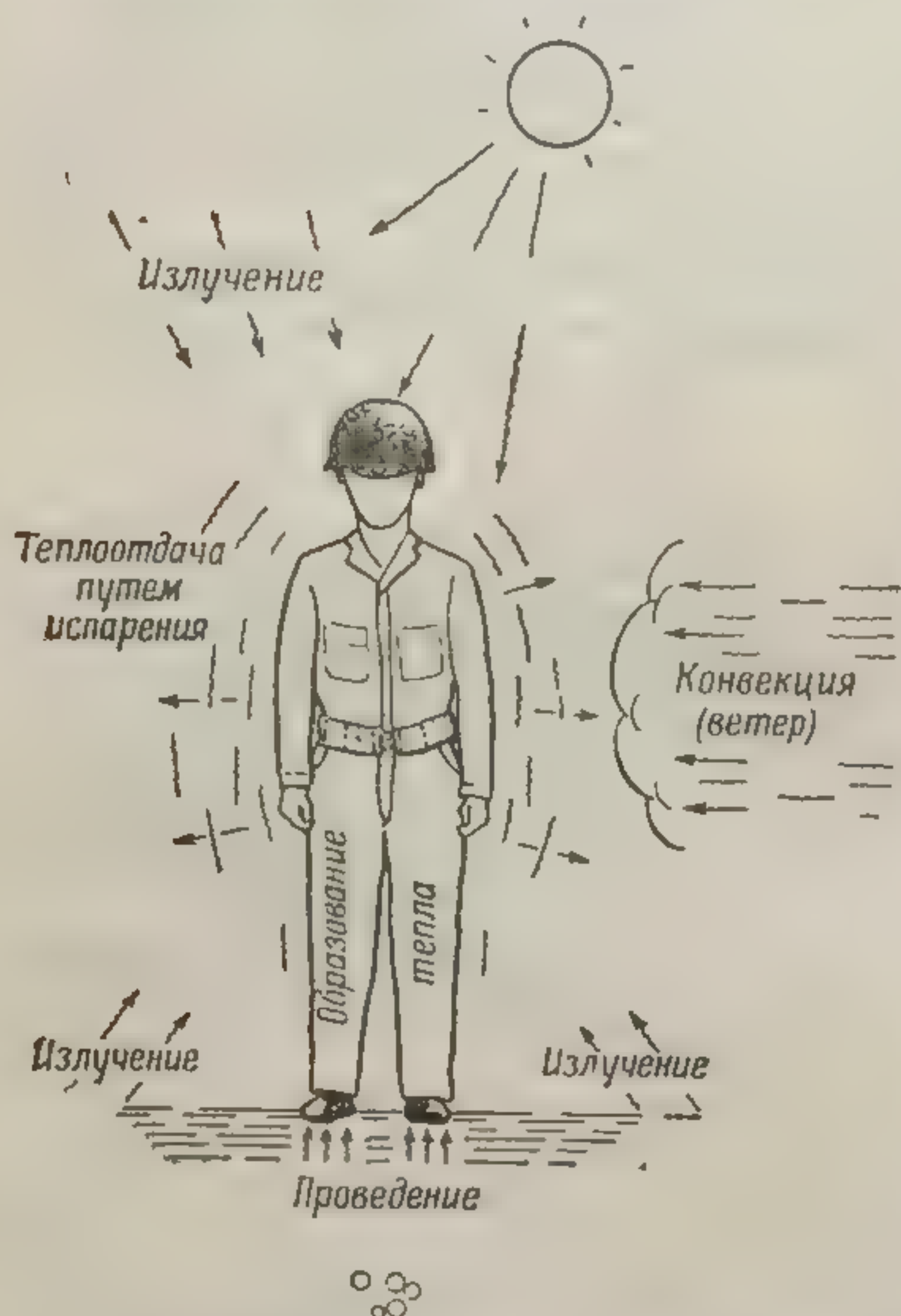
Когда температура воздуха превышает 33° , единственный путь отдачи тепла — это выделение пота. При помощи соответствующих



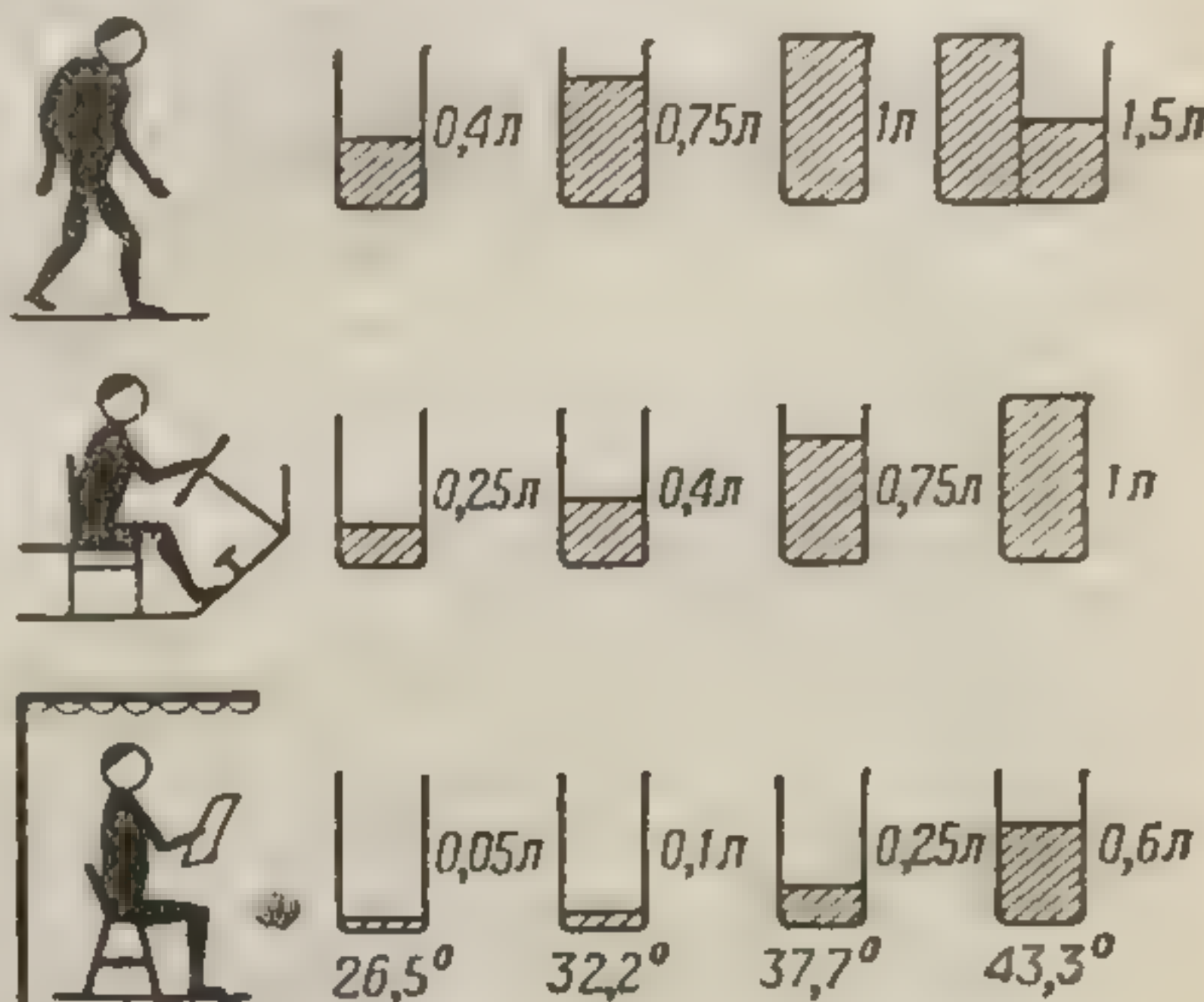
Фиг. 5. Схема строения потовой железы. Пунктирные линии показывают передачу тепла.

измерений мы можем показать, что всякое поступление тепла должно компенсироваться выделением определенного количества пота (фиг. 6). Поскольку каждая капля пота рано или поздно должна быть возмещена приемом воды, мы можем выразить все получаемое человеком тепло в виде количества питьевой воды, необходимой для компенсации потоотделения. Прием этого количества воды является обязательным, и оно не может быть существенно изменено

в результате тренировки, как это предполагают. Количество выделенного пота определяется путем взвешивания человека. Выделение 450 г/час — обычное явление. Выделение 1 л пота в 1 час легко вызвать в условиях пустыни при ходьбе со скоростью 4,8—6,4 км/час.



Фиг. 6. Поступление тепла и теплоотдача.



Фиг. 7. Среднее потоотделение при различной температуре и разной активности.

О количестве выделяемого пота ясное представление дает фиг. 7. Так, например, у человека, идущего со скоростью 5,5 км/час по солнцепеку при температуре воздуха 37,7°, ежечасно выделяется около 1 л пота. У того же самого человека, едущего в тех же условиях на машине, выделяется 0,75 л, а у сидящего в покое в тени — только 0,25 л пота.

Таким образом, изучение физиологии человека в пустыне показывает, что в условиях жаркого климата теплообмен резко возрастает. Терморегуляция совершается путем отдачи тепла за счет испарения воды. Главная забота человека, находящегося в пустыне, заключается в том, чтобы иметь в своем распоряжении такое количество воды, которое необходимо для компенсации всей потерянной с потом воды.

В первом дозаний по экспериментальным исследованиям этой проблемы. Выводы из исследований.

Прежде чем человек сможет выжить в основном из воды). Значит, находясь в пустыне, человек должен иметь при себе определенное количество воды.

В настоящее время все больше ставится вопрос о границах выносливости человека в условиях жаркого климата. Вопрос не ограничивается только тем, сколько воды можно выпить, но и тем, сколько воды нужно для поддержания жизни. Поэтому изучение физиологии человека в пустыне имеет большое значение.

Представление о том, как человек может выжить в пустыне, является одной из задач физиологии человека.

Глава I

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

В первой главе дается общий обзор результатов наших исследований по физиологии человека в условиях пустыни. Результаты экспериментов и наблюдений детально описаны в остальных главах этой книги. При таком порядке изложения данные наших исследований станут доступными и для читателей, не интересующихся деталями.

Прежде всего рассматривается проблема теплоотдачи, с которой человек сталкивается в пустыне (охлаждение тела происходит, в основном, за счет испарения пота, состоящего главным образом из воды). Затем приводятся данные о потребности в воде у человека, находящегося в пустыне, и указываются некоторые меры, при помощи которых ее можно уменьшить. И, наконец, описываются изменения, происходящие в организме человека при отсутствии воды.

Теплообмен человека

В настоящее время человек уже не избегает пустынь, а, напротив, все больше и больше осваивает их. Жизнь в этих местах заставляет еще чаще подвергать свой организм испытаниям. В пустыне грань между безопасностью и смертью гораздо резче, чем где бы то ни было. Главная причина этого заключается в том, что в условиях пустыни величина потоотделения (т. е. потери организмом воды) невероятно высока, а снабжение организма водой крайне ограничено. Наступающее в результате обезвоживание организма можно сравнить с аноксией летчиков, которая также вначале остается незамеченной и обращает на себя внимание слишком поздно. Поэтому наиболее важно выяснить влияние на человека окружающих условий, возможность обеспечения его достаточным количеством воды и как можно более длительным сохранением водного запаса.

Представленные в книге материалы основаны не на кабинетных рассуждениях, а получены в результате сотен испытаний, проведенных как непосредственно в условиях пустыни (Колорадо, Калифорния), так и в специальных тепловых камерах лаборатории по изучению пустыни при Рочестерском университете.

Для того чтобы непосредственно перейти к основным проблемам водного и теплового обмена, отметим, что организм человека функционирует нормально только при температуре 37° . Такова внутренняя температура; температура поверхности кожи несколько ниже, примерно около 33° . В организме человека постоянно совершаются разнообразные процессы обмена веществ, и он выделяет тепло даже тогда, когда человек не выполняет механической работы. Если температура окружающего воздуха низкая, то это тепло позволяет сохранять нормальную температуру тела человека. Если же окружающая температура превышает 33° , то тепло не может быть непосредственно передано окружающему воздуху; тепловая энергия остается в организме и повышает температуру тела. В последнем случае физически возможен только один путь отдачи тепла — выделение пота и затем испарение содержащейся в нем воды. Если теплоотдачи не происходит, то тело человека нагревается выше 37° и наступает лихорадочное состояние. Известно, что подобный перегрев не только не приносит никакой пользы, но может привести к коллапсу, так как клетки организма могут нормально функционировать лишь при обычной температуре.

Прежде чем перейти к рассмотрению процесса испарения, следует выяснить, почему в умеренном климате обычно не наблюдается сильного потоотделения.

Организм в состоянии покоя каждый час выделяет около 80 ккал тепла. Этого количества тепла было бы примерно достаточно для того, чтобы довести до кипения 1 л ледяной воды. В тех случаях, когда температура окружающего воздуха ниже температуры тела человека, это тепло идет на поддержание последней.

Существует четыре основных способа теплоотдачи телом человека.

1. Отдача тепла излучением окружающим его более холодным предметам.

2. Отдача тепла при помощи конвекции. В этом случае тело человека передает тепловую энергию молекулам воздуха, соприкасающимся с поверхностью его кожи или одежды, «нагретые» молекулы удаляются и заменяются новыми, «холодными», которые, в свою очередь, «нагреваются» и тоже уносят с собой тепло. Если молекулы воздуха перемещаются очень быстро, то мы говорим, что дует ветер, и нам всем хорошо известно его освежающее действие.

3. Теплопроводность. Когда мы сидим на холодном предмете, то из нашего тела уходит тепло путем проведения непосредственно с места контакта. Чем лучше проводник, тем быстрее удаляется тепло.

Излучение, конвекция и теплопроводность — процессы, могущие идти в противоположных направлениях и если окружающие человека предметы становятся теплее его тела, то организм не

теряет тепла, а получает его. Именно с такими условиями и встречается человек в пустыне в дневное время.

4. Наиболее важным способом теплоотдачи является испарение воды. При испарении поверхность, на которой оно происходит, охлаждается. Только этот процесс дает возможность организму человека отдавать тепло в тех случаях, когда температура окружающей среды превышает температуру его кожи, т. е. только испарение дает человеку возможность существовать в пустыне.

Рассмотрим эту проблему с несколько иной точки зрения. Для того чтобы избежать перегрева, человек должен отдавать тепло, это осуществляется только путем испарения воды или пота, причем расход воды можно возместить просто выпиванием воды в количестве, равном выделенному. Если человек снабжается достаточным количеством воды и может пить ее сколько захочет, все обстоит благополучно. Если же воду нужно экономить, то возникает вопрос о способах наиболее эффективного использования ее.

Эксперименты показали, что человек не может приспособиться к существованию в течение сколько-нибудь длительного времени при все убывающем снабжении водой; для того чтобы быть работоспособным, он должен получать необходимое ему количество воды. Сколько же воды требуется человеку? На этот вопрос ответить легко: воды нужно столько, сколько ему хочется, а иногда даже и больше. При неограниченном питье никогда не происходит излишней траты воды. Таким образом, мы опять вернулись к вопросу о наиболее рациональном и длительном сохранении воды, содержащейся в нашем теле или имеющейся у нас в запасе.

Вода, содержащаяся в теле, испаряется при любой температуре воздуха. Процесс испарения требует затраты энергии, которая доставляется, в основном, организмом человека. Таким образом, организм отдает энергию испаряющимся частицам и благодаря этому охлаждается. Этот процесс всегда протекает совершенно одинаково, и нам известно, сколько тепла (или, другими словами, энергии) теряется при испарении определенного количества воды. При испарении 1 см^3 воды расходуется около $0,58 \text{ ккал}$ (на 1 л — около 580 ккал). Итак, если бы температура окружающего воздуха была равна температуре кожи человека (т. е. не происходило бы ни получения, ни отдачи тепла путем конвекции или излучения), то в его организме во время медленной ходьбы производилось бы ежечасно 136 ккал , для выделения которых у человека должно было бы испаряться ежечасно 225 см^3 воды; в противном случае температура его тела повысилась бы. Если известно количество выделяемой воды, то можно подсчитать, сколько воды человек должен получить и вновь выделить, так как при неизменной температуре тела количества выделенной и поглощенной воды должны быть равны.

Теперь рассмотрим вопрос о притоке тепла в тело человека.

Мы вычислили, сколько тепла в среднем получает человек в течение дня в пустыне, где температура воздуха значительно превышает температуру кожи и где обычно небо совершенно безоблачно. Как новички, так и люди, хорошо знакомые с условиями пустыни, пытаются, насколько возможно, избежать солнечных лучей. Одетый человек на солнцепеке получает иногда до 150 ккал/час. В прохладный день это, конечно, очень приятно, но летом в пустыне создает только лишнюю нагрузку, вынуждающую организм ежечасно дополнительно испарять 225 см³ воды. В течение 8-часового пребывания на солнце количество добавочно теряемой воды составляет около 2 л и должно быть рано или поздно возмещено, ибо в противном случае неизбежны неприятные последствия. Практически это означает, что человек просто ищет наиболее тенистое место, даже если для этого нужно заползать в чахлый креозотовый кустарник. Полную защиту от солнечных лучей найти трудно, так как значительная их часть отражается или вторично излучается почвой и камнями.

Другим источником тепла является окружающий нас воздух, нагретый путем конвекции. Человек, находящийся в тени, получает тепло воздуха плюс тепло, излучаемое почвой. При повышении температуры воздуха приток обоих видов тепла возрастает почти в линейной зависимости и равен нулю, когда окружающая температура равна температуре кожи (33°). Мы постоянно находимся под действием этих двух факторов, излучения и конвекции, и почти ничего не можем сделать для того, чтобы избежать их. Однако при особых обстоятельствах можно оградить себя от части тепла, получаемого путем конвекции от воздуха. При наличии ветра или сильного потока воздуха, возникающего естественно или создающегося при езде в открытой машине, происходит не только интенсивное испарение, но и передача организму большего количества тепла от горячего воздуха. Слой холодного воздуха, окружающий тело человека в неподвижной атмосфере, в этом случае сдувается, и вследствие этого образуется большой температурный градиент между воздухом и кожей. Поэтому целесообразно укрываться от сильных ветров, хотя они и кажутся приятными вследствие усиления испарения. За временное охлаждение тела (под действием сильного ветра) приходится расплачиваться расходом дополнительного количества воды, содержащейся в нашем организме.

Как уже отмечалось, в организме в состоянии покоя образуется около 80 ккал/час — минимальная теплопродукция, без которой невозможна жизнь. В пустыне человек должен компенсировать образование этого тепла испарением воды (примерно 140 г). Если температура воздуха превышает 33°, то за рабочий день организм человека тратит около 1,5 л воды. Это количество само по себе не чрезмерно велико, однако следует иметь в виду, что человек ведет дневной образ жизни и выполняет свои обязанности, в основном,

в течение
организа
вательн
еще бо
Тепло
вызыва
нарушен
бы опре
человека
работу,
5 км/час
хотинцу,
стыне. Н
буется от
полнение
тельно, за
Если же в
еще 0,5 л
Рассмот
солнцепеку
ры взаимн
за 1 час об
ся испарени
ты, затрачи
ся 200 ккал
ния почвы
хом, органи
нужно испа
непосредств
еще 225 см
испарять ок
заться удив
не. Однако п
на. В этом п
ных весах, и
на самых гр
Совершенство
звание тепл
по возможнос
нечное излуче
сградить себя
путем конвек
туре воздуха
испарения пот
чительное кол
работы.

в течение самых жарких дневных часов. Во время работы наш организм продуцирует, конечно, гораздо больше тепла и, следовательно, для того чтобы избежать перегрева, мы должны испарять еще большее количество воды.

Теперь мы подошли вплотную к изложению одной из причин, вызывающих дегидратационное истощение с сопровождающими его нарушениями физического и морального состояния. Для того чтобы определить влияние работы на потребление воды организмом человека, испытуемым предлагается выполнить определенную работу, например ходьбу в пустыне по песку со скоростью 4,5—5 км/час. С такой скоростью часто приходится передвигаться пешотинцу, путешественнику или человеку, заблудившемуся в пустыне. Наши эксперименты показали, что при этом человеку требуется отдать 200 и более ккал/час, т. е. 310—370 г воды, в дополнение к тем, которые расходует сидящий человек. Следовательно, за каждый час ходьбы мы расходует примерно 340 г воды. Если же выполняется более трудная работа, то добавочно требуется еще 0,5 л и более воды в 1 час.

Рассмотрим роль этих факторов во время ходьбы человека по солнцепеку при температуре $37,7^{\circ}$. Все перечисленные нами факторы взаимно дополняют друг друга. Итак, во-первых, в организме за 1 час образуется около 80 ккал, для удаления которых требуется испарение примерно 140 г воды в 1 час. Во-вторых, за счет работы, затрачиваемой на ходьбу со скоростью 5 км/час, продуцируется 200 ккал (испарение 340 см³ воды в 1 час). В результате излучения почвы и конвекции, или, другими словами, нагревания воздухом, организм получает добавочное тепло, для удаления которого нужно испарение 225 см³ воды в 1 час. И, наконец, тело человека непосредственно облучается солнцем, т. е. принуждено испарять еще 225 см³/час. В общей сложности организм человека должен испарять около 1 л воды в 1 час, количество, которое может показаться удивительным даже человеку, долго прожившему в пустыне. Однако при $37,7^{\circ}$ такая величина потоотделения довольно обычна. В этом нетрудно убедиться, просто взвешиваясь на портативных весах, ибо ежечасную потерю 900 см³ воды легко уловить даже на самых грубых весах.

Совершенно очевидно, что работа вызывает наибольшее образование тепла. В целях эффективной экономии воды этот фактор по возможности должен быть устранен в такой же мере, как и солнечное излучение. Единственным способом, которым человек может оградить себя от излучения почвы и солнца и от получения тепла путем конвекции, является ношение одежды. Только при температуре воздуха ниже $26,5^{\circ}$, когда отдача тепла происходит не путем испарения пота, а путем конвекции и излучения, сберегается значительное количество воды, особенно при выполнении какой-либо работы.

Потребность человека в воде

Когда организм нуждается в воде, человек обычно испытывает ощущение жажды. Многие считают, что если бы можно было подавить чувство жажды, то человек был бы способен благополучно существовать и без воды. Однако те, которые бывали в пустыне, знают, что это ощущение еще не так мучительно, как другие явления, наступающие в отсутствие воды. Для подавления чувства жажды предлагались различные способы, например жевать что-либо, держать во рту камешек или принимать определенные медикаменты.

Ни один из этих методов не является вполне эффективным, хотя все они помогают несколько отвлечь внимание. Опыты показали, что, в конечном счете, человек выпивает одинаковое количество воды независимо от того, держал ли он во рту камешек, принимал ли лекарство, или вообще ничего не предпринимал для подавления чувства жажды. Как известно, только вода действительно утоляет жажду, и поэтому совершенно бесцельно пытаться облегчить ее чем-нибудь иным.

Вместо этого следовало бы попытаться уменьшить количество теряемой организмом воды путем устранения причины, вызывающей эту потерю. Вода расходуется главным образом на образование пота и мочи. Так как выделение и испарение пота является единственным способом охлаждения тела при высокой температуре окружающей среды, то для уменьшения потоотделения необходимо избегать нагревания организма за счет как окружающей среды, так и собственной теплопродукции. Гораздо легче уменьшить количество воды, идущей на дополнительное образование мочи. Прием пищи ведет к появлению в организме веществ, для выделения которых требуется вода. Следовательно, когда человек обладает лишь ограниченным запасом последней, он должен воздерживаться от пищи, содержащей много белка и соли.

Одна из характерных особенностей обмена веществ у человека заключается в том, что при усиленном потоотделении он не принимает такого количества воды, которое бы возместило потерю и сохранило постоянным содержание воды в теле. Другими словами, ощущение жажды не настолько сильно, чтобы вызвать потребление достаточного количества воды, компенсирующего потерю. Человеку, находящемуся в пустыне в состоянии покоя, достаточно принимать воду с интервалом в 1—2 часа, чтобы не возникало сильного обезвоживания организма; однако если он в тех же условиях будет выполнять какую-нибудь работу, вызывающую расход большего количества воды, то у него появится чувство жажды, несоизмеримое этим потерям. Механизм, регулирующий равновесие между поступлением воды и потерей ее организмом человека, совершенно неизвестен. Фактически человек обычно выпивает только половину

того количества воды, которое он теряет за время работы на солнце.

Охлаждение воды, придание ей приятного вкуса и даже простое подсаливание несколько увеличивают количество выпиваемой человеком воды, хотя по сравнению с потерей воды организмом оно все еще остается несоразмерно низким. Даже если в распоряжении человека есть достаточное количество питьевой воды, то он будет ее пить только после того, как поест и отдохнет и у него появится потребность в возмещении воды, потерянной его организмом. При этом если человек заставит себя выпить больше воды, чем ему хочется, то эта вода целиком пойдет на образование пота. Иногда прием избыточного количества воды вызывает чувство тошноты. Возможно, что именно это обстоятельство мешает человеку сразу выпивать такое количество воды, которое могло бы возместить потери и сохранить постоянным содержание воды в организме.

Другой особенностью человека, находящегося в состоянии дегидратации, является то, что после лишения воды в течение некоторого времени он выпивает ее меньше, чем требовалось бы для восстановления исходного веса тела. Создается впечатление, что часть израсходованной его телом воды была лишней. Однако при наличии пищи он выпивает через некоторое время количество воды, достаточное для восстановления своего исходного веса. Известно только, что в течение, по крайней мере, двух часов после лишения воды, организм человека отказывается принимать нужное для компенсации потерь количество воды. Следовательно, хотя человек и в состоянии пить, когда снова предоставляется такая возможность, для возвращения к норме сразу же после перенесенного недостатка воды ему требуется пища или принудительный прием воды.

Экономия воды

Наиболее простыми способами, при помощи которых человек может в пустыне уменьшить свою потребность в воде, являются: 1) прекращение всякой деятельности, 2) пребывание в тени и 3) сохранение на теле одежды. Конечно, не всегда есть возможность находиться в тени в полной бездеятельности. Тем не менее следует отметить, что указанными способами человек, испытывающий недостаток в воде, может сохранить в течение более длительного времени воду, содержащуюся в его организме. И так, при недостатке воды человек по мере возможности должен оставаться бездеятельным, а всю необходимую работу выполнять в ночное время. Мы теперь можем точно предсказать, какое расстояние человек способен пройти, используя для этого только ночное время, так как за ночь человек проходит в три раза большее расстояние, чем в течение жарких дневных часов.

Обычно возникает вопрос, как при недостатке воды использовать имеющийся запас ее. Нужно ли равномерно распределить его на некоторое количество дней или часов или сберечь целиком до какого-то определенного срока? Эксперименты показывают, что когда вода выпивается соответственно желанию человека, она расходуется не в большем количестве, чем в том случае, если человек сберегает ее в течение длительного времени после того, как у него прошло чувство жажды.

Одним из наиболее широко распространенных заблуждений является представление о том, что во время похода или тяжелой работы в жаркие дневные часы нельзя пить воду. Считается, что питье вызывает жажду и человек очень скоро остается без воды, так как выпивает весь имеющийся у него запас. Это достаточно распространенное представление может оказаться очень опасным в условиях пустыни. Поскольку тело человека теряет одинаковое количество воды независимо от того, пьет ли он для возмещения этой потери или нет, гораздо удобнее и полезнее иметь запас воды внутри организма, чем носить ее с собой. Эксперименты, проведенные непосредственно в пустыне, показали, что люди, выпивающие свой запас воды по мере желания, чувствуют себя лучше, чем воздерживающиеся от питья.

Подобно большинству ложных представлений и это также базируется на определенных фактических данных. Известно, что человек при выполнении тяжелой работы и при интенсивном потоотделении выпивает меньше воды, чем ему действительно нужно. Очевидно ощущение жажды каким-то образом тормозится именно в тех случаях, когда оно наиболее необходимо для поддержания определенной степени насыщения тканей организма водой. Кроме того, люди могут заставить себя отвлечься от испытываемого ощущения жажды и гордятся тем, что могут «сберечь» полагающуюся им воду. Однако воздержание от приема воды в течение нескольких часов является только временной экономией; человек, воздерживавшийся от питья в походе, впоследствии выпивает все сэкономленное количество воды. Таким образом, добровольный отказ от воды совершенно бесполезен. Пересиливая во время похода жажду, люди доходят до состояния истощения от недостатка воды в организме, в то время как их фляжки еще полны воды. Мы не обладаем экспериментальными данными, которые показали бы, в каком случае человек, выживает дольше: когда выпивает свой ограниченный запас воды раньше или позже. Считается, что в обоих случаях продолжительность жизни одинакова, но в первом случае человек сохраняет хорошее самочувствие в течение более длительного времени.

Человек может до некоторой степени подготовиться к недостатку воды путем предварительного приема избыточного количества жидкости. Последняя удерживается в организме в течение значи-

тельного периода времени, так как для выведения излишка воды с мочой требуется 2—3 часа.

Это подводит нас к вопросу о том, какое количество воды должен нести на себе человек, которому предстоит пройти неизвестное расстояние.

С физиологической точки зрения чем больше он может взять, тем лучше, так как неприятности, причиняемые избыточным потоотделением, вызванным дополнительной пошей, невелики по сравнению с той пользой, которую человек получает от выпитой воды. Однако на практике, если есть возможность определить длину предстоящего пути, то количество взятой с собой воды можно ограничить. При путешествии пешком в ночное время на каждые 30 км пути, даже при самой сильной жаре, должно хватить 3,5 л воды. Благополучное завершение путешествия зависит от возможности оставаться в тени в дневное время.

Во время жары выделение пота необходимо для охлаждения; даже если бы в нашем распоряжении и имелись какие-нибудь средства, тормозящие образование пота, применять их было бы совершенно нерационально. Однако количество пота, образование которого необходимо для сохранения температуры тела на нормальном уровне, зависит от того, сколько тепла человеку требуется выделить, а величина теплоотдачи, в свою очередь, определяется интенсивностью теплопродукции организма и количеством получаемого экзогенного тепла. Зная все эти данные, человек может до некоторой степени регулировать процесс потоотделения.

Практически регуляция потоотделения сводится к изменению факторов, увеличивающих или уменьшающих потребность в выделении пота. Потоотделение стимулируется получением большого количества солнечного тепла или интенсивным теплообразованием в результате напряженной мышечной работы. Поэтому единственно правильным способом экономии пота являются практические мероприятия, направленные на уменьшение количества получаемого человеком тепла.

Кроме того, экономия пота может произойти и в том случае, если охлаждение тела достигается путем испарения не пота, а какой-либо другой жидкости. Например, находясь в море, человек может смочить свою одежду морской водой, испарение которой заменит испарение пота. Даже в пустыне в распоряжении человека может оказаться какое-то количество жидкости, не пригодной для питья (вода из радиатора машины, моча и т. д.). Человек, оставшись без воды, может временно уменьшить свою потребность в ней путем воздержания от приема соли и пищи, тем более, что обычно ему не хочется ни того, ни другого.

Итак, человек, оказавшийся в пустыне без средств передвижения и желающий достичь безопасных мест, должен взять с собой максимально возможное количество воды и немного пищи (или

совсем не брать пищи), совершать переходы в ночное время и стараться, насколько это возможно, защищать себя от солнечных лучей. Он должен также защищаться от чрезмерно сильных ветров, которые только приносят дополнительное тепло его телу (слабый ветер способствует полному испарению выделяющегося пота). Каждый кубический сантиметр сэкономленного пота сохраняет в организме кубический сантиметр воды.

Недостаток воды

Для того чтобы установить количество воды, необходимой человеку в пустыне, следует выяснить, какой процент воды, содержащейся в его организме, он может безвредно утратить. Поскольку каждый испытал на себе влияние потери незначительного количества воды, следует определить, какой вред причиняет потеря организмом человека большого количества жидкости. Так как интенсивное потоотделение приводит к очень быстрому обезвоживанию организма, то обычный метод изучения действия дегидратации заключается в том, что человека заставляют сильно потеть, не возмещая при этом расходуемую им воду. Количество израсходованной таким образом воды легко вычислить по уменьшению веса тела. Контролем служили испытуемые, компенсирующие израсходованную на образование пота жидкость приемом равного количества воды. Однако иногда контрольными считались испытуемые, которым разрешалось пить воду без ограничения, так как обычно люди выпивают меньше воды, чем требуется для восстановления веса тела.

В организме людей, не возмещающих потерю воды, происходят следующие изменения: ускоряется пульс, повышается ректальная температура, учащается дыхание, появляется ощущение мурашек и онемения кожи, кровь делается более вязкой и объем ее уменьшается. Следовательно, количество воды в крови уменьшается до такой степени, что кровообращение становится невозможным без дополнительного усилия со стороны сердца. Нарушение кровообращения ведет к затруднению дыхания, желудочно-кишечным расстройствам, сопровождаемым тошнотой и отсутствием аппетита, и затруднению мышечных движений; люди становятся крайне раздражительными.

Большинство патологических симптомов, обнаруживающихся у человека при обезвоживании его организма, можно отнести за счет нарушения кровообращения, в частности — недостаточности периферического кровоснабжения. Это состояние обычно называют истощением. У здорового человека оно наступает только после потери 5—6% исходного веса тела и внешне проявляется в том, что он теряет способность ходить и продолжать свою обычную деятельность; он испытывает облегчение только в лежащем положении,

что указывает на некоторое улучшение кровообращения в состоянии покоя. Так как все симптомы истощения исчезают в течение нескольких минут после приема воды, то не остается сомнений, что они вызываются обезвоживанием организма. Эксперименты, проведенные на животных, показали, что при достаточно сильной дегидратации, выражающейся в уменьшении веса тела более чем на 12%, может резко повыситься температура тела. Очевидно, организм человека теряет способность терморегуляции потому, что при нарушении кровообращения тепло уже больше не может передаваться поверхностным тканям, где обычно осуществляется отдача тепла. В такой ситуации неизбежен тепловой удар, представляющий собой перегревание тканей организма, и если человека не переведут в более прохладную атмосферу, то может наступить смерть. По всей вероятности, именно такая смерть настигает многих, оказавшихся в пустыне без воды. При более низкой температуре окружающей среды человек медленнее теряет силы и умирает при водном дефиците, соответствующем падению веса тела на 20—25%.

Было установлено, что явления дегидратации можно облегчить только приемом воды. Казалось бы, что некоторые явления, связанные с дегидратацией, можно устранить при помощи определенных медикаментов или какого-либо лечения; однако нарушенное кровообращение восстановить не удастся. Поэтому если при отсутствии воды спокойно лежать в тени, избегая всякого рода усилий, то это даст лишь временное облегчение.

Существовало представление, что при повторной или продолжительной дегидратации люди становятся менее чувствительными к недостатку воды в организме. Однако все попытки доказать это в строго контролируемых условиях не увенчались успехом. Те, кто считает, что повышение устойчивости к дегидратации может приобретаться организмом, должны учитывать, по меньшей мере, два других фактора: 1) приобретение опыта в защите тела от действия высокой температуры, что позволяет избегать ее расслабляющего действия, и 2) приспособление к жаре. Наступающее после нескольких раз пребывания на солнцепеке приспособление к жаре позволяет человеку выполнять работу с такой скоростью, к какой он был не способен, находясь в первый раз на солнцепеке, ибо тепловое истощение суммируется с дегидратационным истощением. Симптомы этих двух явлений плохо различимы и дополняют друг друга, однако их можно дифференцировать и изучать отдельно, во-первых, акклиматизируя человека к жаре при сохранении нормального водного баланса и, во-вторых, вызывая дегидратацию человека, уже акклиматизировавшегося к жаре. При проведении подобных исследований оказалось, что ни в полевых, ни в лабораторных условиях не происходит адаптации и дегидратация бывает одинаково тяжелой как в первый, так и в последний день экспериментов.

В общем, проявления обезвоживания организма удивительно однообразны у разных индивидуумов и выражаются в недостаточности кровообращения и уменьшении объема крови. Некоторые люди могут переносить большую, другие меньшую степень дегидратации, и один и тот же человек в разные дни по-разному реагирует на потерю одного и того же количества воды. Однако дегидратация неизменно вызывает одну и ту же картину нарушения кровообращения еще задолго до того, как содержание воды в организме уменьшается на 20% от общего количества. Следовательно, нельзя считать, что в организме содержится резервное количество воды, без которого он может обойтись. Каждая капля воды необходима человеку для нормального функционирования кровеносной и других систем.

Для
ляющий
привык
ству из
планиров
из собств
соответств
до настоя
о потребн
с ним при
В после
исследован
Сколько во
угрожать
количества
стыне?
В 1942
ченных на
выяснить с
1) Каков
ловий средь
2) Что п
3) Можно
тий отсрочи

«Жаркие»
лучением, си
Эти особеннос
животных и
В древние вре
существование
кроме того, он
шествий и пер
себе всю
еку.

Глава II

ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ

Для человека в пустыне вода — необходимый фактор, определяющий все его поведение. Люди, выросшие в другом климате, привыкли к тому, что их снабжение водой обеспечено, и большинству из них кажется удивительным, что потребление воды требует планирования и расчета. Определить эту потребность человек может из собственного опыта, из опыта, накопленного другими или из соответствующих научных публикаций. Насколько нам известно, до настоящего времени не имеется ни систематических сообщений о потребности человека в воде, ни описания того, что происходит с ним при отсутствии воды.

В последнее время возникла необходимость в подобных научных исследованиях для того, чтобы ответить на ряд простых вопросов. Сколько воды нужно человеку ежедневно? Как скоро ему начинает угрожать опасность, если в его распоряжении нет достаточного количества воды? Можно ли подготовить человека к жизни в пустыне?

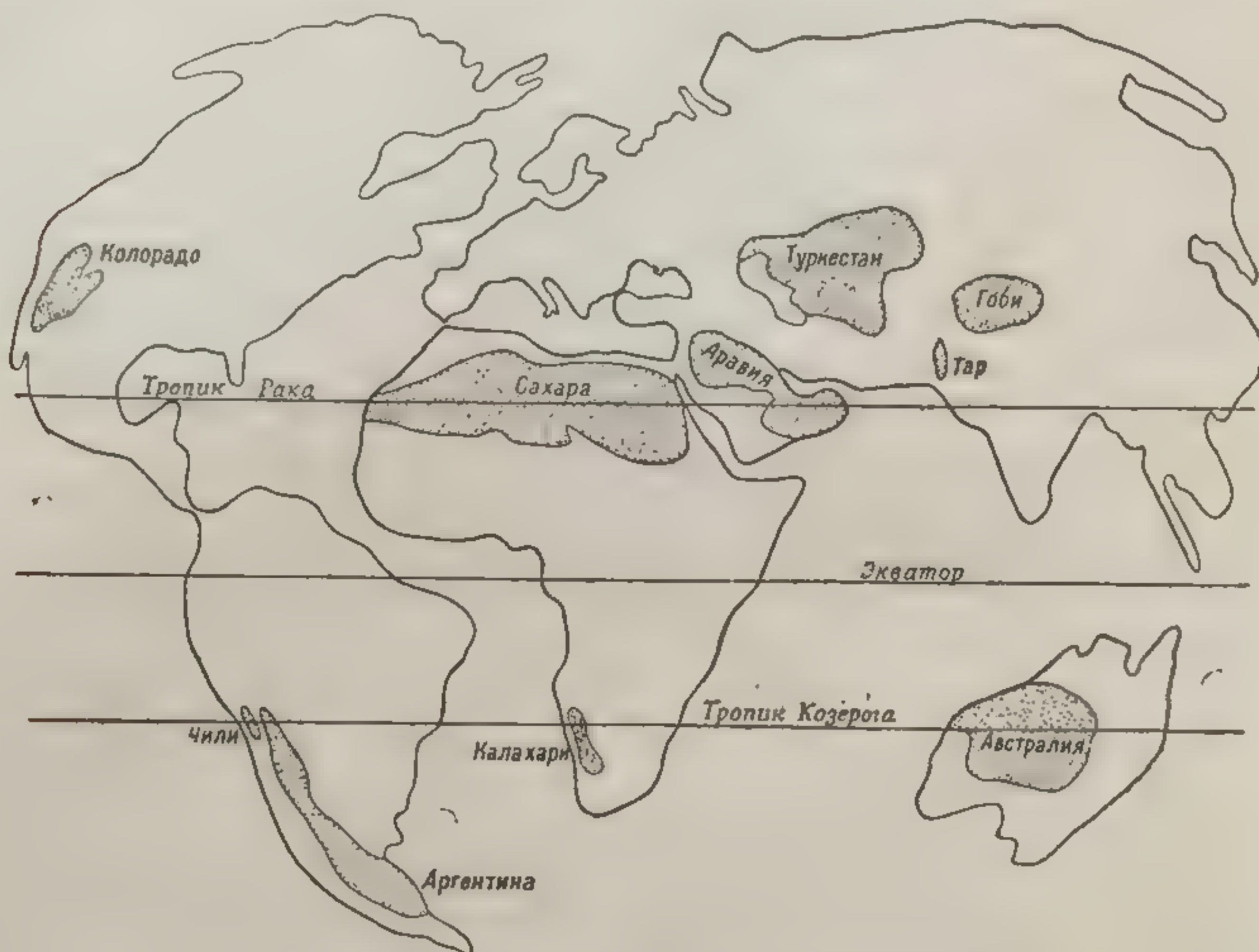
В 1942 г. мы поставили своей целью при помощи заранее намеченных наблюдений, проводимых непосредственно в пустыне, выяснить следующие вопросы:

- 1) Какова потребность человека в воде и зависит ли она от условий среды и активности его организма?
- 2) Что происходит в организме человека при отсутствии воды?
- 3) Можно ли при помощи каких-либо практических мероприятий отсрочить или ликвидировать потребность в воде?

Что представляет собой пустыня?

«Жаркие» пустыни — это места с интенсивным солнечным излучением, сильными ветрами и почти полным отсутствием воды. Эти особенности пустынь губят в них все живое, ибо большинство животных и растений не может существовать в таких условиях. В древние времена люди жили в полупустынях, поддерживая свое существование тем, что пригоняли с собой стада животных. Однако, кроме того, они пытались прокладывать в пустыне дороги для путешествий и перевозок товаров. Это были люди, которые испытали на себе всю тяжесть «сопротивления», оказываемого пустыней человеку.

Часто говорят, что жаркие пустыни расположены в тех местах, куда редко попадает воздух, насыщенный влагой. Эти пространства соответствуют континентальному типу циркуляции воздуха, при котором обычно преобладают пассаты, дующие только с больших открытых территорий (как, например, в восточной части северного полушария). Таким образом, воздух теряет избыток влаги, прежде чем достигает пустыни. Регулярное отсутствие влажного



Фиг. 8. Пустыни земного шара (по Кёппену).

воздуха, а следовательно, и дождя неизбежно приводит к появлению особенностей, характерных для пустынь. Вследствие отсутствия облачности излучение солнца и небосвода чрезвычайно интенсивно в течение всего дня. Камни и песок поглощают тепло и, вновь излучают его, а также проведенным нагревают воздух. В дневное время повышение температуры вызывает как местное, так и общее усиление движения воздуха. Ветер поднимает с земли тучи песка и пыли и переносит их с места на место.

Кёппен [1] называет пустыней всякую местность, в которой количество осадков за год (в см) составляет величину, меньшую, чем средняя годовая температура плюс $16,5^{\circ}$. Обычно к пустыням относят громадные территории земной поверхности. Вагнер [2], основываясь в своем определении на критерии Кёппена, считает, что к пустыням нужно отнести 12% всей земной поверхности. Это составляет огромную площадь в 18 130 тыс. км², которая могла бы также быть освоена человеком.

Расп...
фиг. 8 [3]
табл. 1 [3]
не встре...
рога. К...
и наибол...
нее, чем к...
человека...
потребнос...
привоза в...
В пуст...
и теплов...
температу...
на органи...
Видим...
ультрафио...
пигментац...
организму...
отдано.

Ветер...
в тело чел...
воздуха, с...
отчасти за...
ность бла...
ляет пути...
ка и окру...
пустыни п...
сти от тем...
ся наибо...
водополь...

Расположение больших пустынь на земном шаре показано на фиг. 8 [3], а площадь десяти наибольших из них приводится в табл. 1 [4]. Как мы видим, в экваториальных областях пустыни не встречаются, они группируются вокруг тропиков Рака и Козерога. Климат наиболее северных пустынь, как, например, Гоби, и наиболее южных, как Атакама в Аргентине, несколько прохладнее, чем климат пустынь, расположенных в тропиках. Однако для человека во всех пустынях возникают одни и те же проблемы и потребность в воде может быть удовлетворена только при помощи привоза воды.

В пустыне такие факторы, как видимое, ультрафиолетовое и тепловое излучение, ветер, пыль и, наконец, влажность и температура воздуха, оказывают чрезвычайно сильное действие на организм человека.

Видимый солнечный свет своим блеском затрудняет зрение, ультрафиолетовые лучи вызывают солнечные ожоги, воспаление и пигментацию кожи, и оба вида солнечной радиации доставляют организму человека тепло, которое затем должно быть им снова отдано.

Таблица 1

ПЛОЩАДЬ НАИБОЛЕЕ ОБШИРНЫХ ПУСТЫНЬ
(по данным Тейлора)

Название или расположение	Площадь, км ²	Название или расположение	Площадь, км ²
Сахара . .	6 831 400	Колорадо . .	517 800
Австралия . .	2 847 900	Гоби	466 020
Туркестан . .	2 330 100	Калахари . .	233 010
Аравия . . .	1 242 720	Тар	191 586
Аргентина . .	1 035 600	Чили	191 586

Ветер обуславливает поступление лишнего количества тепла в тело человека, но вместе с тем обновляет окружающий его слой воздуха, способствуя испарению пота. Скорость испарения пота отчасти зависит от сухости воздуха; низкая относительная влажность благоприятствует испарению. Температура воздуха определяет пути и скорость теплообмена между поверхностью тела человека и окружающей средой. Вообще же все характерные особенности пустыни проявляются в большей или меньшей степени в зависимости от температуры воздуха. Поэтому температура воздуха является наиболее удобным показателем, определяющим теплообмен и водообмен, происходящий между организмом человека и окружающей средой.

Особенности пустыни заключаются в том, что во время пребывания в ней происходит перегревание человеческого организма, что в конце концов приводит к его дегидратации. Человек может чувствовать себя хорошо в условиях пустыни только благодаря тому, что его тело отдает тепло при испарении пота. Пот секретится в ответ на повышение температуры окружающей среды и представляет собой почти чистую воду, получаемую из организма. В условиях пустыни пот испаряется раньше, чем становится заметным; будучи еще невидимым, он может испаряться в количестве 900—1350 г/час. Не только ради комфорта, но и вследствие крайней необходимости эта расходуемая организмом человека вода должна возмещаться так же быстро, как она теряется.

Находиться в пустыне без воды так же невозможно, как быть в стратосфере без кислорода; 1 мин. пребывания без кислорода эквивалентна 4 час. пребывания без воды на солнцепеке. Есть люди, которые считают, что другие просто избаловали себя в отношении потребления кислорода или воды, тогда как сами они достаточно выносливы, чтобы обходиться без того или другого. Однако это не так.

До тех пор пока человек возмещает воду, теряющуюся при испарении пота, он остается работоспособным. Возмещение потерь не представляет затруднений, так как обычно ощущение жажды сигнализирует о том, сколько воды должно быть выпито. Трудность заключается в том, чтобы для удовлетворения жажды всегда иметь в распоряжении достаточное количество воды; вода, столь дешевая в любом другом месте, в пустыне приобретает огромную ценность.

Общая характеристика проведенных исследований

Каким образом физиолог может ответить на поставленные выше вопросы?

1. Единственный способ установить, необходима ли человеку вода, это проследить, сколько времени человек может обходиться без нее. К счастью, человек, в течение некоторого времени лишенный воды, умирает не сразу. Напротив, после питья воды все возрастающая слабость и плохое самочувствие проходят, силы возвращаются и человек продолжает жить.

2. Для того чтобы определить, с какой быстротой организм человека теряет воду при выделении пота, нужно измерить скорость падения веса тела. Легко доказать, что почти вся потеря веса приходится на счет испарившейся воды. Большая часть испаряющейся воды выделяется через потовые железы; поэтому физиолог, куда бы он ни отправлялся, берет с собой весы и фиксирует через каждые 1—2 часа изменения веса тела при различных условиях.

3. Кроме измерения потерь воды, можно измерять и ее посту-

пление. У человека, потребляющего сколько ему хочется пищи и воды, утренний вес тела стабилен. Этот факт показывает, что человек потребляет столько же, сколько и теряет. В условиях пустыни большая часть потерь и поступлений приходится на долю воды, и поэтому исследователь, вооружившись мерной посудой и записной книжкой, может точно установить, сколько жидкости потребляется человеком за сутки.

4. Поскольку все еще существует мнение, что организм нуждается в меньшем количестве воды, чем то, которое человек выпивает при отсутствии ограничений, физиолог должен сам попытаться некоторое время обходиться меньшим количеством воды. При этом он обнаружит, что в течение коротких отрезков времени его организм может сэкономить 1—2 л воды (хотя и расплачиваясь за это). В конце концов он должен будет выпить всю ту воду, от которой он раньше воздерживался, и только таким путем сможет ликвидировать создавшийся в его организме водный дефицит. Однако само явление водного дефицита нуждается в тщательном исследовании.

Мы проводили определение потребности в воде не только в условиях жаркой пустыни, но также и в океане, ибо океан, поскольку дело касается снабжения пресной водой, также представляет собой пустыню. Большая часть сведений, важных для человека, находящегося в пустыне, представляет ценность также и для потерпевшего кораблекрушение. Применяемые нами простые методы дали возможность узнать, что можно сделать для облегчения участи человека, отправившегося в пустыню, а также предвидеть и предупредить ожидающие его опасности.

Наши экспедиции в пустыню

Каждому, кто бывал в пустыне, знакома возникающая там непреодолимая потребность в воде. Имеется много разнообразных наблюдений относительно того, какое при этом выпивается количество воды; некоторые из этих наблюдений опубликованы. Спорадический интерес к вопросам водного обмена проявляли путешественники по пустыням. Мы начали наши исследования в 1937 г. в Боулдер-Сити, штат Невада [5], где установили, что люди выпивали в день до 7,4 л воды, а потери путем испарения во время физической работы достигали 1,7 л/час.

Наиболее серьезным затруднением оказалось широко распространенное убеждение в том, что людей нужно приучать довольствоваться меньшим количеством воды. Существовало представление, что пот — это впустую растрачиваемая организмом вода и что образование его можно затормозить, выпивая меньшее количество воды. Это представление казалось правдоподобным, и не было достаточно убедительных данных для того, чтобы показать

его ошибочность. Оно вызывает сомнения физиолога, так как противоречит известной физиологической аксиоме, гласящей, что у человека при прекращении потоотделения быстро наступает перегревание; следовательно, у людей нет перегрева, когда они теряют воду, и поэтому у них не должно прекращаться отделение пота.



Фиг. 9. Расположение опытных станций в Калифорнии и соседних с ней штатах.

17 августа 1942 г. семеро из нас прибыли в юго-восточную часть Калифорнии (зона военных маневров) и на перекрестке дорог у Фреды организовали в палатках лабораторию (фиг. 9). Мы провели три рода исследований: 1) отдельные члены нашей экспедиции изучали потребность солдат в воде во время маневров, при пользо-

вании различными средствами передвижения и на стоянках; 2) на нас самих было исследовано действие лишения воды; 3) в качестве объекта наблюдения служил взвод в 20 солдат, который совместно с нами совершал переходы в течение 3—8 час., с питьем воды и без питья. К 1 октября было собрано достаточное количество данных, чтобы выяснить, сколько воды необходимо человеку в пустыне при различной температуре воздуха и как долго он может выполнять свои обязанности при отсутствии воды.

После периода зимних исследований, проводившихся в тепловых камерах лаборатории в Рочестере (июнь 1943 г.), вторая экспедиция выехала в Блайт, Калифорния. Там была организована лаборатория, где исследовалось 10—20 человек, находящихся под ежедневным наблюдением. Были проведены эксперименты продолжительностью 1—20 час. В августе 1943 г. большая часть сообщаемых здесь полевых исследований была закончена.

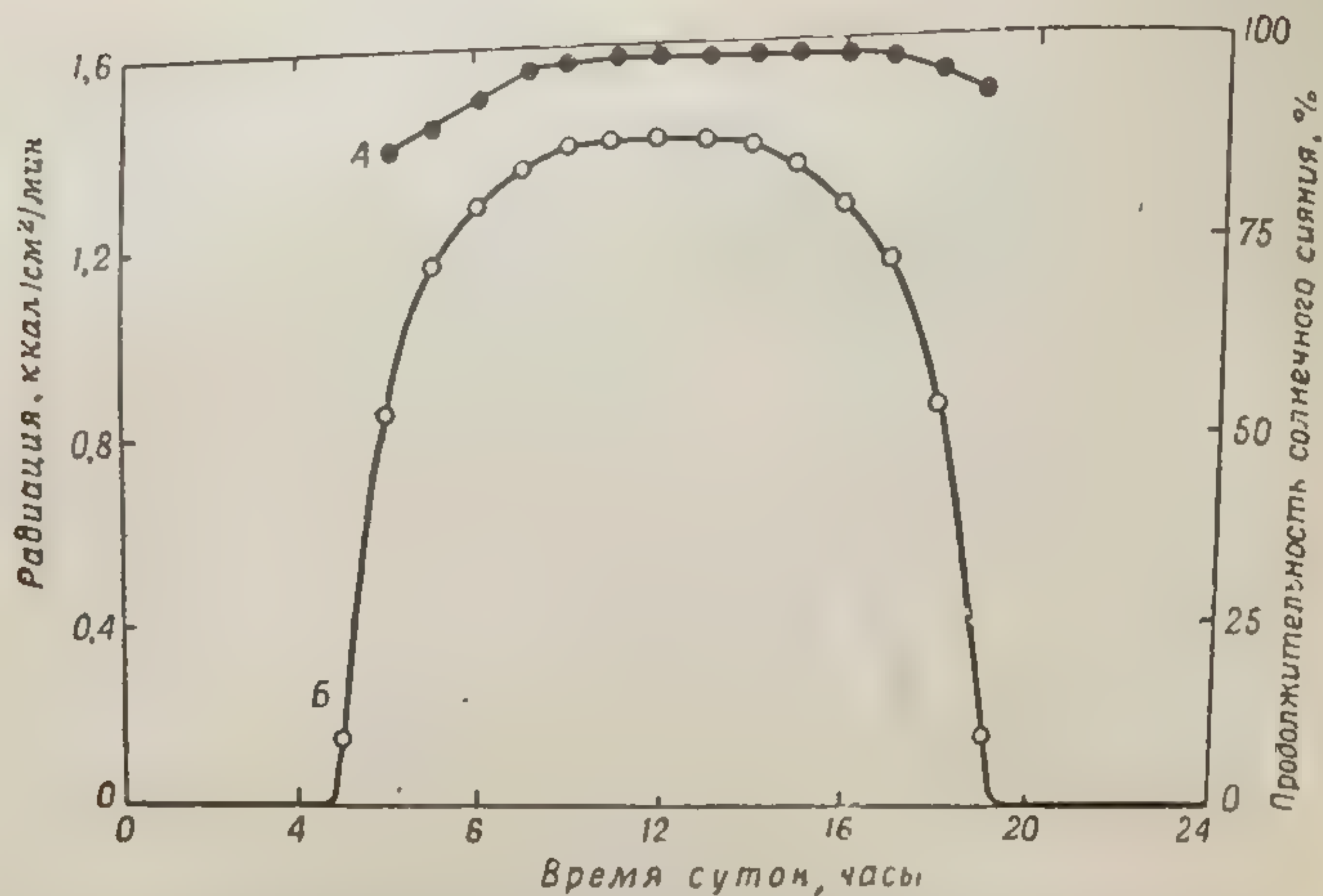
Данные о потерях воды у людей, находившихся на воде в спасательных резиновых лодках, были получены двумя нашими сотрудниками в августе и сентябре 1943 г. (Эглин Филд, Флорида). Эти материалы позволили распространить данные о потребности в воде у людей, находящихся в жарких пустынях, на потерпевших кораблекрушение в теплых морях и оставшихся без запаса пресной воды (см. главу XVIII). Зимой 1943 г. исследования проводились в лабораторных условиях.

Летом 1944 г. во время четвертой экспедиции четверо из нас снова отправились в Эглин Филд, чтобы сравнить действие, оказываемое на человека условиями тропиков или джунглей, с влиянием условий пустыни (см. главу XIX). После этой экспедиции мы уже с меньшим числом сотрудников продолжали лабораторные эксперименты и обработку материала вплоть до июня 1945 г., когда работа в пустыне была закончена.

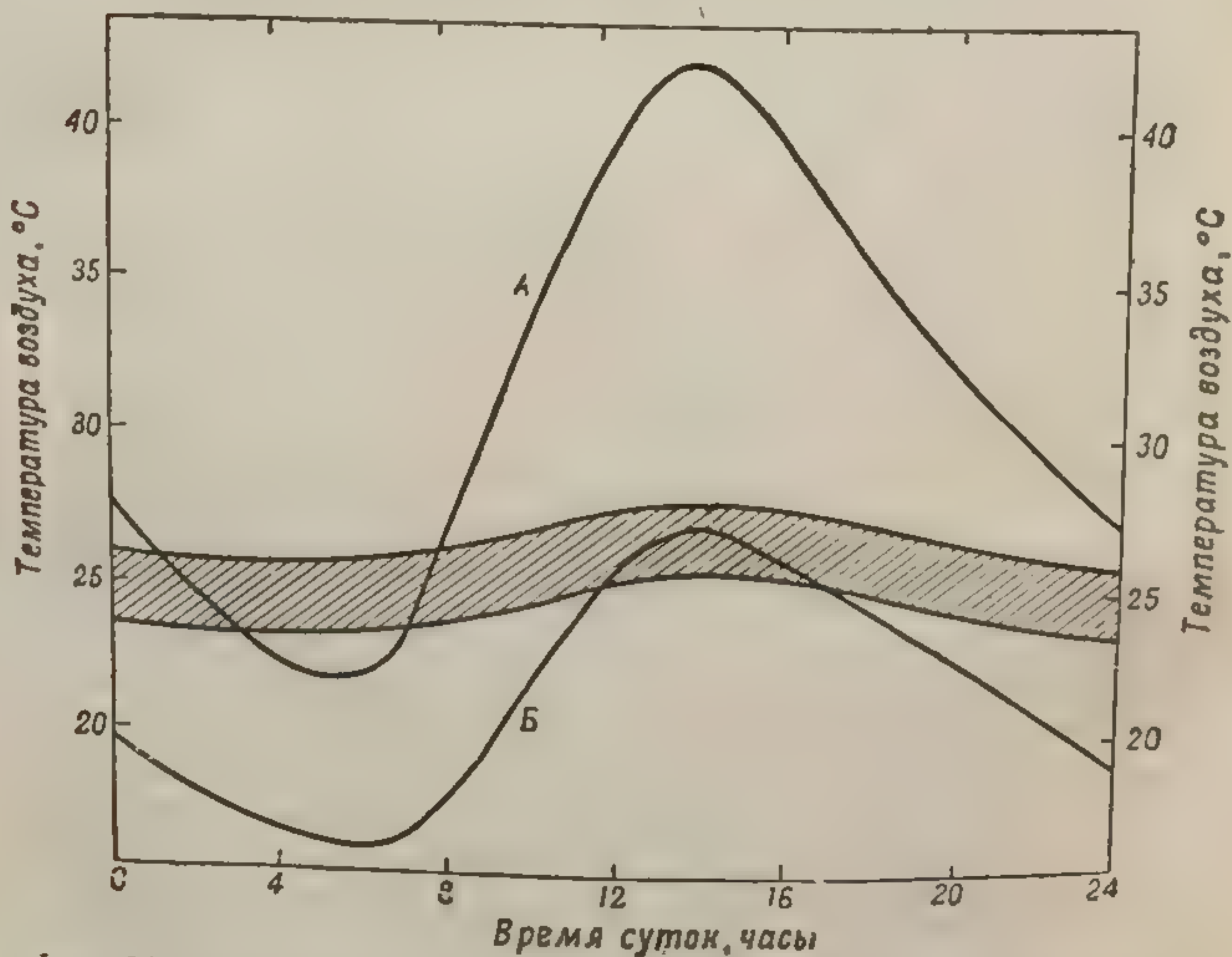
Климат пустыни

Суточные колебания ветра, температуры, интенсивности солнечного излучения и сухости воздуха, которым подвергается человек в пустыне, могут быть представлены в виде средних для каждого сезона года. Фактически в пределах каждого сезона происходят только незначительные отклонения от этих средних величин, — цикл полного солнечного излучения (инсоляции) неизменно повторяется изо дня в день (фиг. 10). Совершенно естественно, что больше внимания должно быть уделено жарким, а не холодным сезонам года, ибо именно в это время года создаются те особые условия, к которым должен быть подготовлен путешественник. На основании ежечасной регистрации температуры в тени был вычерчен дневной цикл температуры воздуха, который представлен на фиг. 11. Утром воздух нагревается быстрее, чем охлаждается вечером,

ую часть
дорог у
мы прове-
экспедиции
он пользо-



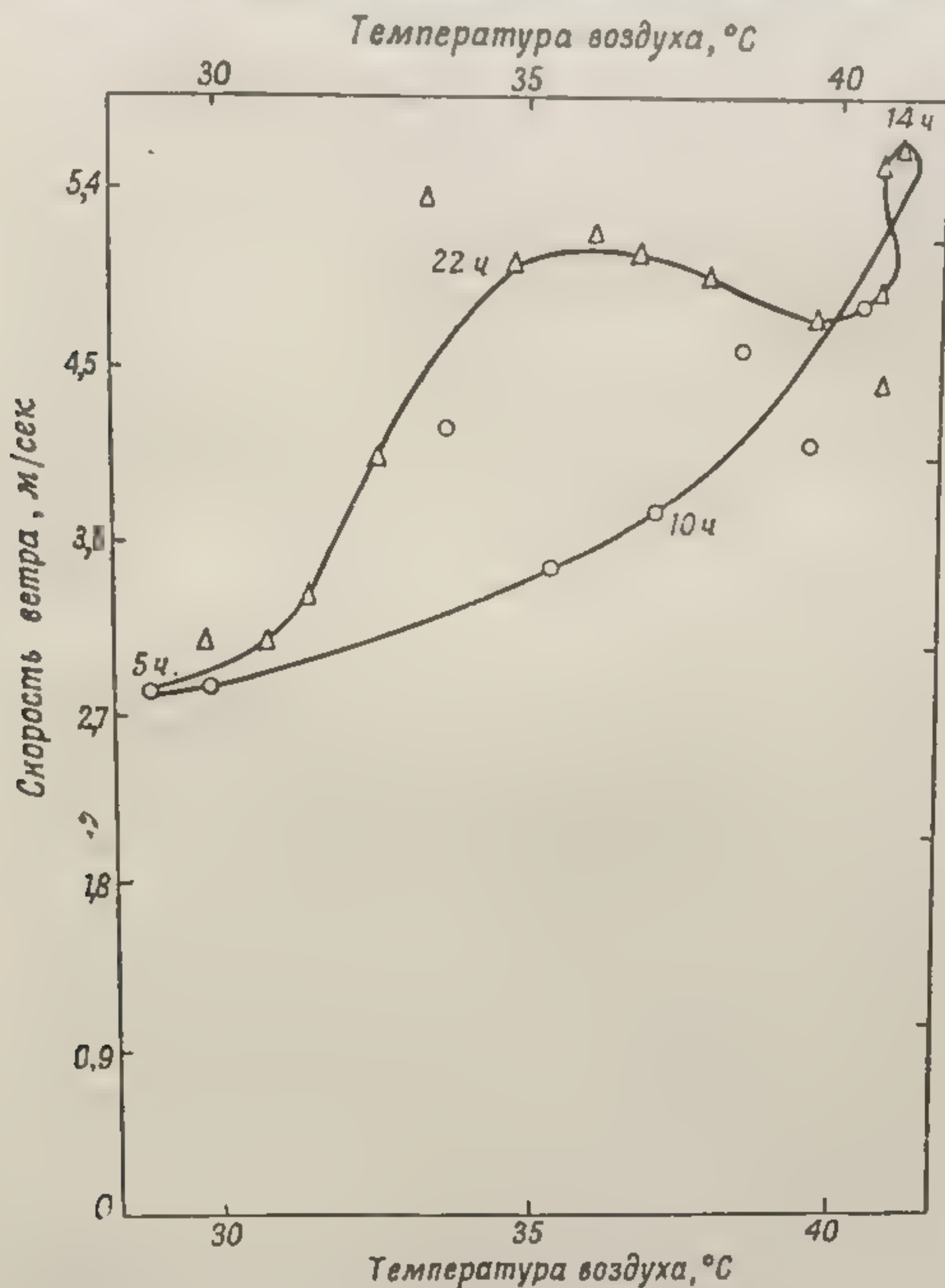
Фиг. 10. А — средняя продолжительность максимальной освещенности (%) в июле (Фресно, Калифорния); Б — солнечная радиация в безоблачный день в июле (Санта-Фе, Нью-Мексико) [6—7].



Фиг. 11. Средняя суточная температура воздуха в июле. А — в пустыне (Индио, Калифорния); Б — в умеренном климате (Рочестер, Нью-Йорк). Заштрихованный участок — зона комфорта для человека, находящегося в помещении (тень) [8].

поэтому он еще остается горячим в течение длительного времени после того, как солнце миновало зенит.

Как правило, интенсивность ветра усиливается с увеличением солнечной радиации и, кроме того, ветер продолжается и после захода солнца (фиг. 12). Это обстоятельство отчасти благоприятствует путешественнику, так как ветер ускоряет испарение пота именно

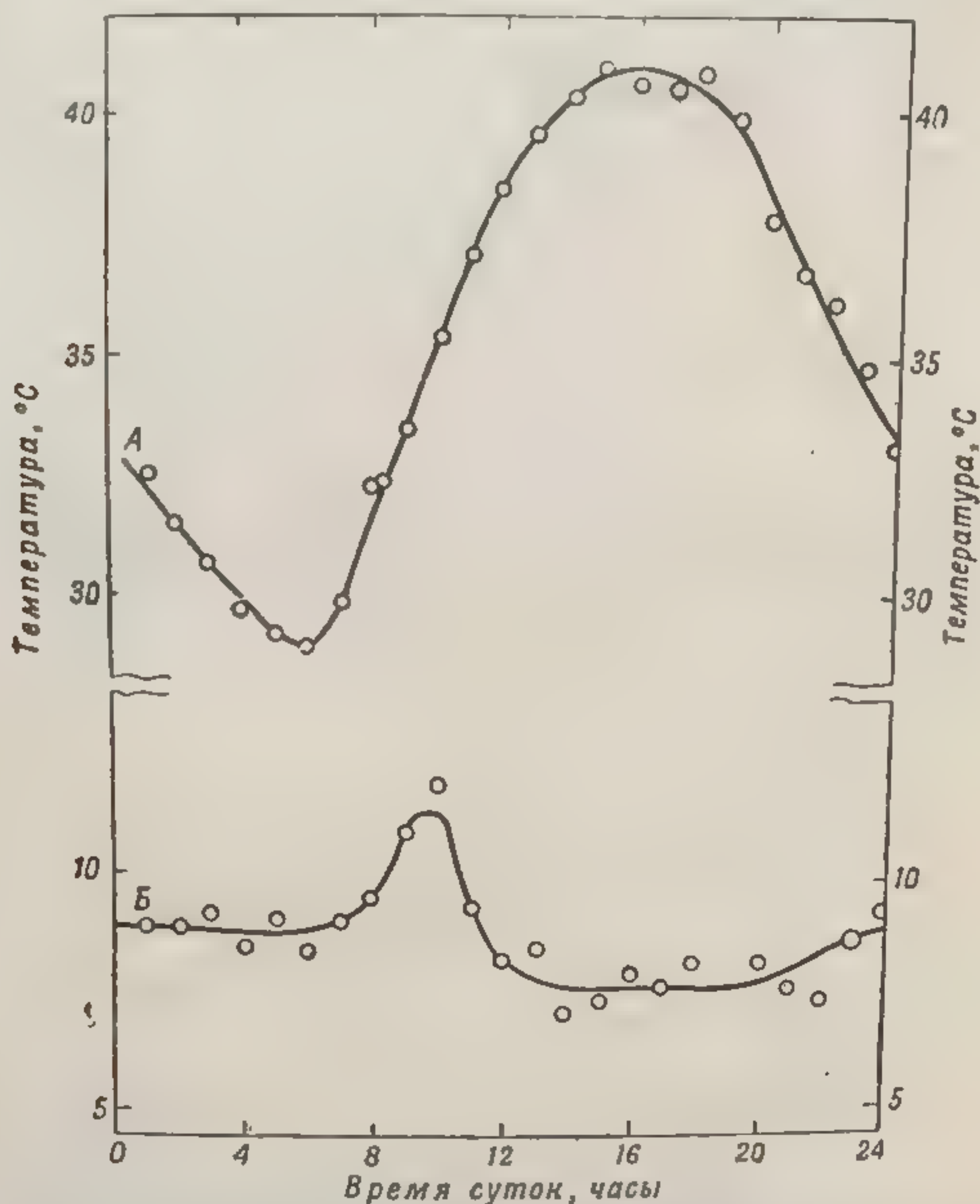


Фиг. 12. Зависимость между средней скоростью ветра и средней суточной температурой воздуха в июле 1943 г. (Блайт, Калифорния). ○ — повышение температуры; Δ — понижение температуры.

в то время дня, когда процесс потоотделения наиболее интенсивен. Бураны из пыли, вероятно, возникают незадолго до наступления сумерок. Кроме того, от локального нагревания воздуха возникают очень маленькие вихри, которые медленно увеличиваются, образуя тонкие столбы кружащейся пыли, достигающие десятков метров в высоту.

Можно определять абсолютную и относительную влажности воздуха. Количество влаги (H_2O) в определенном объеме воздуха,

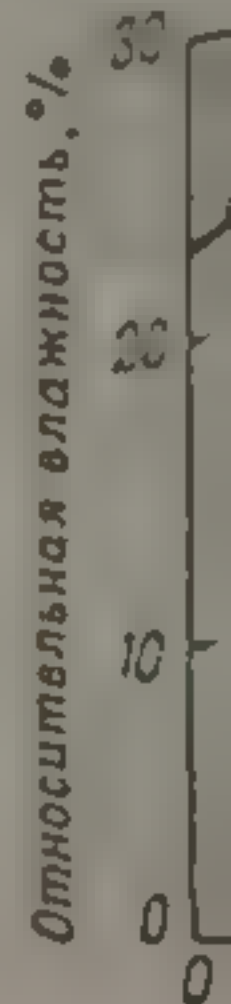
измеренное по точке росы или наивысшей температуре, при которой влага конденсируется в воздухе, остается обычно постоянным в течение всего дня (фиг. 13), так как здесь не происходит ни потери, ни значительного поступления воды, за счет выпадения осадков или испарения. Однако отношение абсолютного количества



Фиг. 13. Средняя суточная температура воздуха и точка росы в июле 1943 г. (Блайт, Калифорния). Измерения производились на высоте 760 см от поверхности земли. А — температура воздуха; Б — точка росы.

влаги к тому ее количеству, которое может содержаться в воздухе при насыщении, обратно пропорционально температуре воздуха. Следовательно, относительная влажность, измеряемая при помощи волосяного гигрометра или психрометра с сухим и мокрым термометрами, имеет постоянный цикл изменений (фиг. 14). Кривая, представленная на графике, свидетельствует о том, что в самое жаркое время дня испарение воды ускоряется.

Сухость воздуха
ности долго
тех же координат
при которых
в течение 8 час.
10, 11. В таких ус
щимся потом; ес



Фиг. 14

и поэтому теплоот
пустыни иногда мо
при которых дости
возможный для орг
Годовые колеба
воздуха в пустыне
ся от колебаний, на
(фиг. 17). Однообра
нам говорить о пус
ных в специальны
сительную интенс
интересующем нас
даже в самый жар
температура не про
иально зарегистри
смерти, Калифорни
Хотя показани
ным образом, все
в заблуждение. То
всякого рода радиа
движном воздухе
рять двумя способ
русской метеороло
ищущего психром
мер. о около 100 р
3 Э Альф

Суточные циклы температуры воздуха и относительной влажности легко записать на климографе (фиг. 15). Для сравнения на тех же координатах показаны предельные атмосферные условия, при которых люди, находящиеся в помещении, могут выполнять в течение 8 час. в день физическую работу средней трудности [9, 10, 11]. В таких условиях человек покрывается обычно неиспаряющимся потом; вся поверхность его тела оказывается увлажненной,

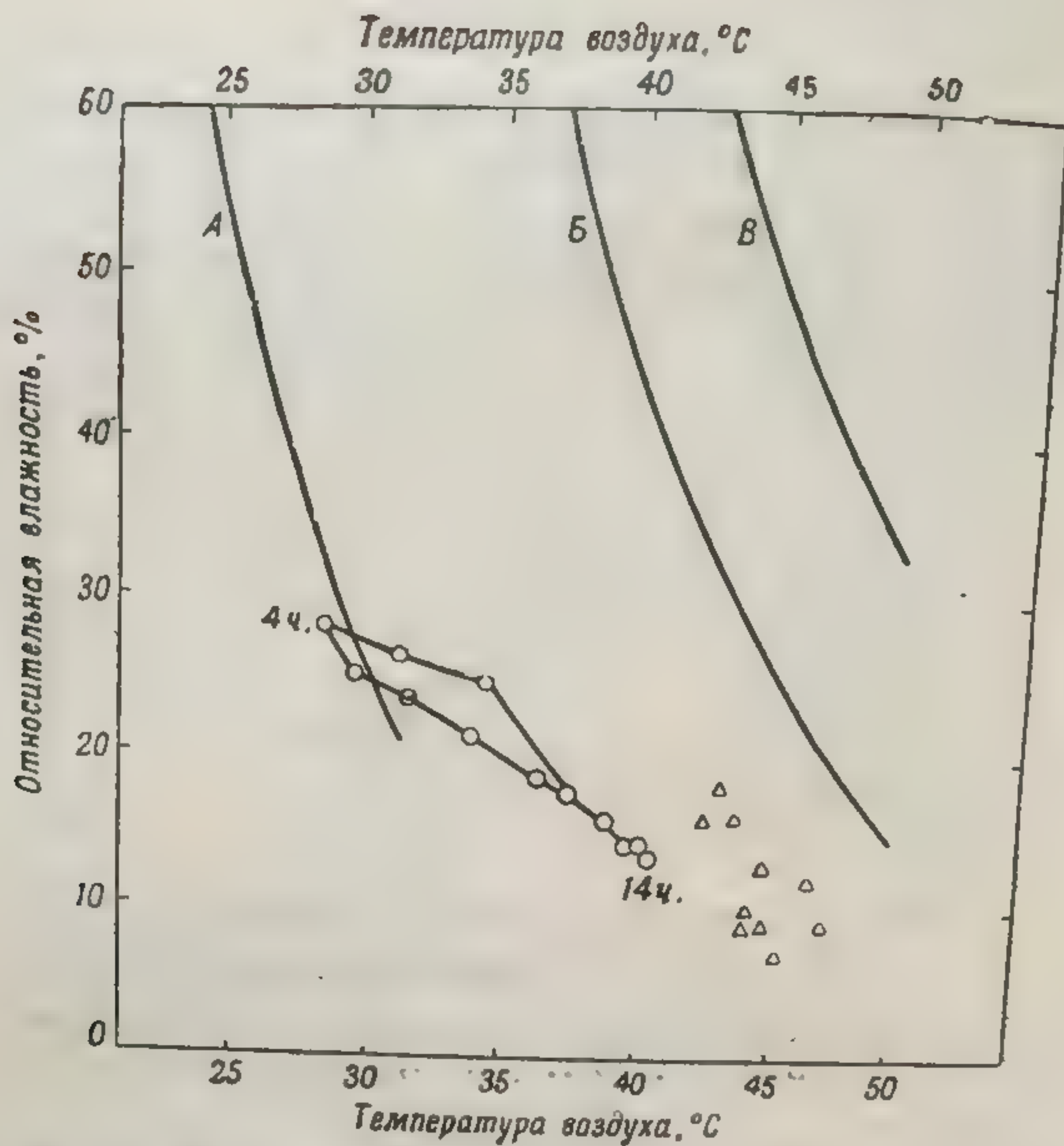


Фиг. 14. Относительная влажность в обычный день в июле 1943 г. (Блайт, Калифорния).

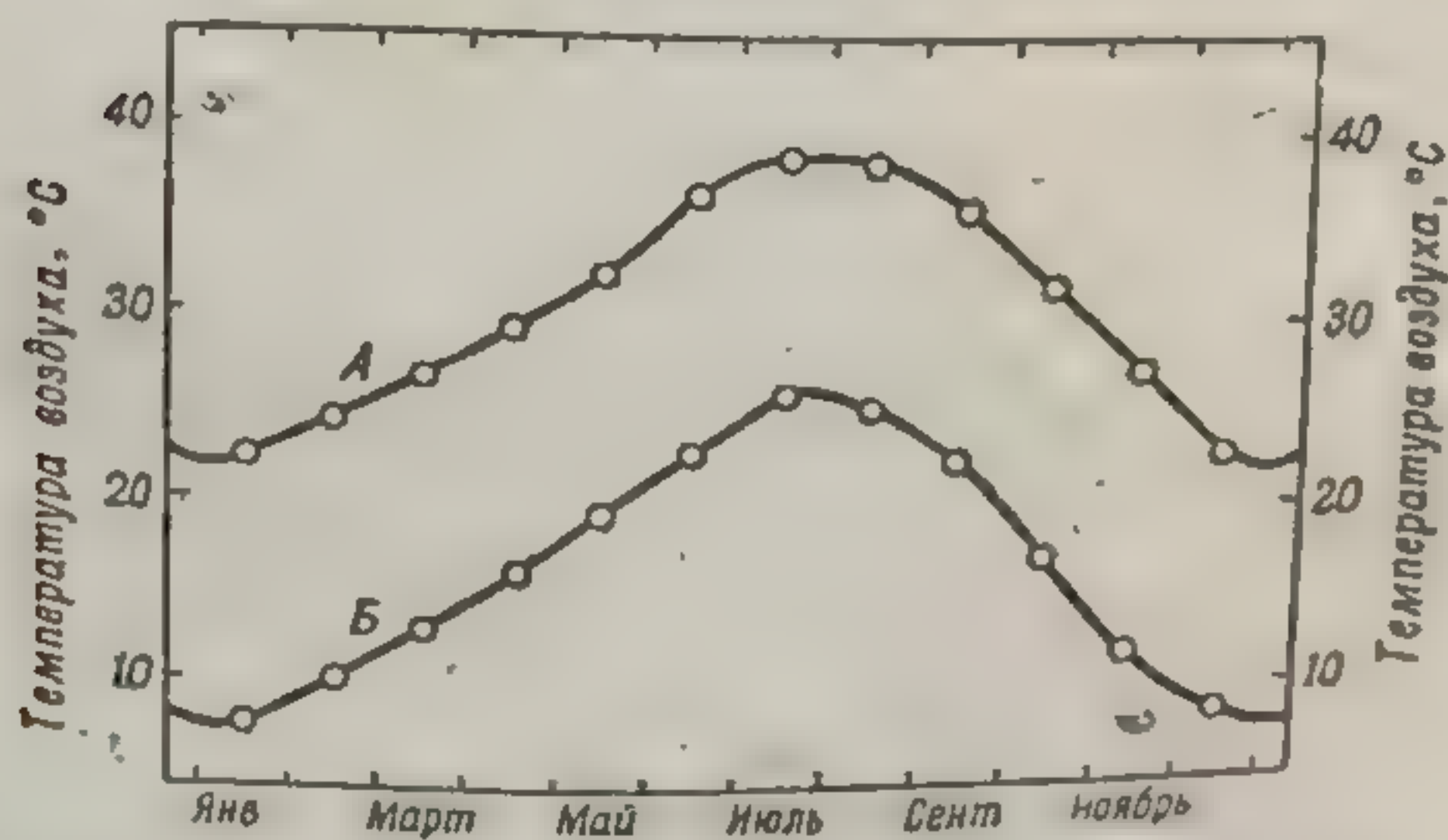
и поэтому теплоотдачи не происходит. Климатические условия пустыни иногда могут приближаться к этим крайним условиям, при которых достигается предел теплоотдачи путем испарения пота, возможный для организма человека во время работы.

Годовые колебания максимальной и минимальной температуры воздуха в пустыне Калифорнии (фиг. 16) существенно не отличаются от колебаний, наблюдающихся в других пустынях земного шара (фиг. 17). Однообразие условий во всех этих местностях позволяет нам говорить о пустыне вообще. Показания термометров, помещенных в специальные условия, дают возможность определить относительную интенсивность метеорологических факторов в любом интересующем нас месте пустыни. Ни в одной части земного шара, даже в самый жаркий месяц года, средняя максимальная дневная температура не превышает 49° . Максимальная из когда-либо официально зарегистрированных температур составляла $56,6^{\circ}$ (Долина смерти, Калифорния).

Хотя показания термометров регистрируются всегда одинаковым образом, все же они могут оказаться ошибочными и ввести в заблуждение. Термометр должен быть полностью защищен от всякого рода радиации и вместе с тем не должен находиться в неподвижном воздухе. Практически эти требования можно удовлетворить двумя способами: 1) держать термометр в стандартной вентилируемой метеорологической будке; 2) показания сухого термометра пращевого психрометра снимать только после вращения его примерно около 100 раз.



Фиг. 15. Показания климографа в обычный день в июле 1943 г. (Блайт, Калифорния). \circ — максимальные температуры; \triangle — показатели влажности, соответствующие максимальным температурам; А — В — предельные атмосферные условия для акклиматизировавшихся и неакклиматизировавшихся людей; А — неакклиматизировавшийся человек во время работы; В — акклиматизировавшийся человек во время работы; В — акклиматизировавшийся человек в покое.

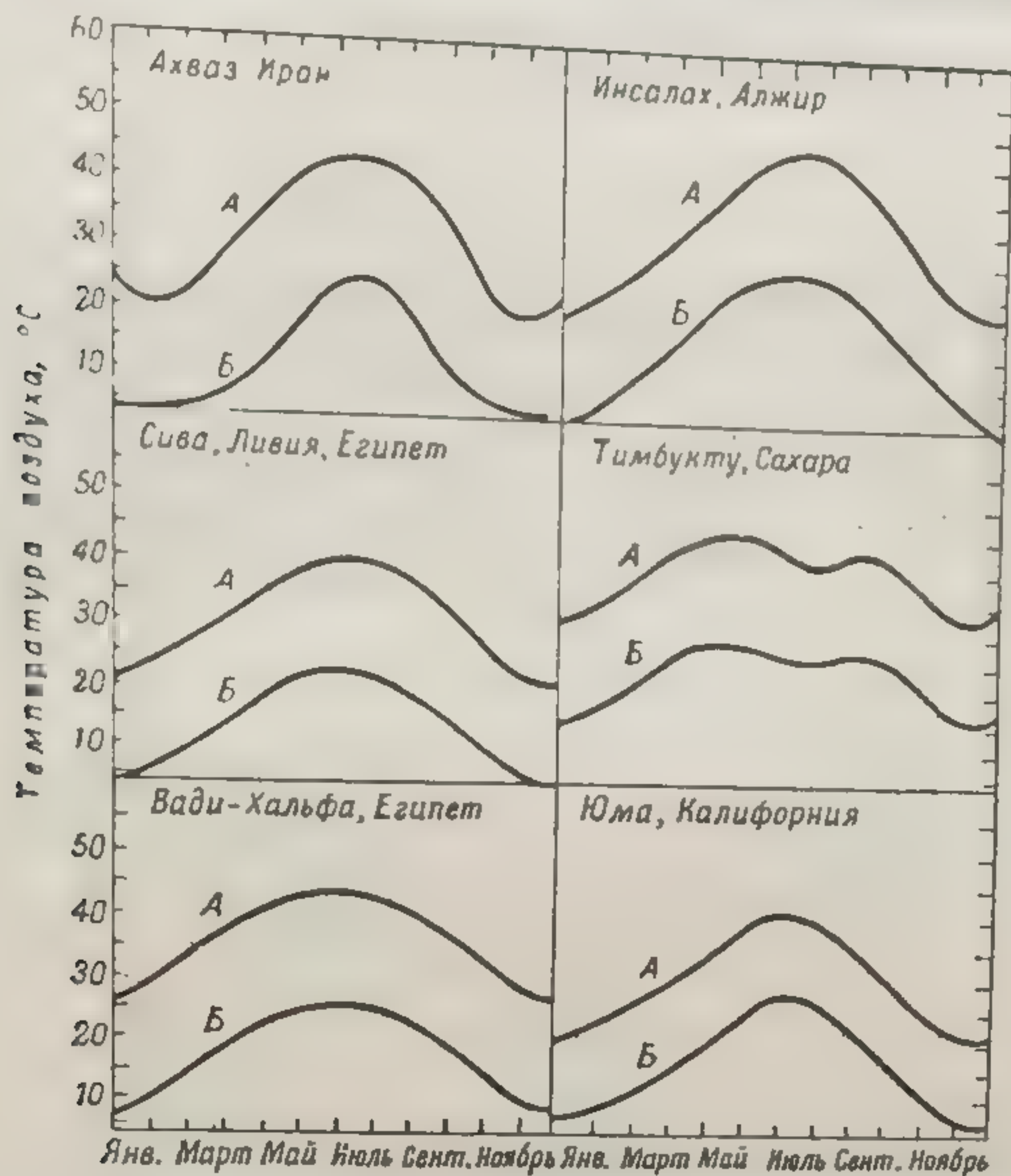


Фиг. 16. Максимальная и минимальная суточные температуры в разные месяцы (Индио, Калифорния). А — максимальная температура; В — минимальная температура. (По данным местной метеорологической станции, средние за 25 лет.)

Для ре
еще не уста
можно был
стигнуто со

которые до
ки подобн
Годи
кие (в сре
ные меся
меняются
(см. фиг. 1
осадков, в
Из тог
видным, ч
ляется вы
га.

Для регистрации «солнечной температуры» в настоящее время еще не установлен стандартный метод. Несмотря на то что для этого можно было произвольно выбрать любой способ, до сих пор не достигнуто соглашения ни относительно спецификации термометров,



Фиг. 17. Максимальная и минимальная суточные температуры в разные месяцы в шести пустынях. А — максимальная температура; Б — минимальная температура.

которые должны быть при этом использованы, ни относительно оценки подобных измерений.

Годичный цикл метеорологических факторов показывает, какие (в среднем) климатические условия можно ожидать в различные месяцы. Максимальная и минимальная температуры воздуха меняются на протяжении года с чрезвычайной регулярностью (см. фиг. 17). То же самое можно сказать и в отношении влажности, осадков, ветров и инсоляции.

Из того, что было сказано выше, становится совершенно очевидным, что наиболее интересным метеорологическим фактором является высокая температура воздуха, так как в этих условиях организм человека подвергается самым сильным испытаниям. Поскольку в пустыне для человека доминирующей физиологической

потребностью является потребность в воде, наши исследования ставили своей целью выяснить особенности водного обмена у людей в условиях самой жаркой погоды. В пустыне суточные колебания температуры воздуха достигают $14-22^{\circ}$, что часто дает возможность выбирать для пребывания на солнце и выполнения физической работы более прохладное время дня.

ЛИТЕРАТУРА

1. K ö r p e n W., *Petermann's Mitteilungen*, 64, 193, 243 (1918); см. также James P. E., *Monthly Weather Rev.*, 50, 69 (1922).
2. W a g n e r H., *Petermann's Mitteilungen*, 67, 216 (1921).
3. T a y l o r G., *Environment and Race*, London, Milford, p. 281, 1927.
4. T a y l o r G., *Environment and Race*, London, Milford, p. 279, 1927.
5. A d o l p h E. F., D i l l D. B., *Am. J. Physiol.*, 123, 369 (1938).
6. K i m b a l l H. H., *Monthly Weather Rev.*, 47, 774 (1919).
7. K i n c e r J. B., *Monthly Weather Rev.*, 48, 12 (1920).
8. Y a g l o g l o u C. P., D r i n k e r P., *J. Indus. Hygiene*, 10, 350 (1928).
9. R o b i n s o n S., T u r r e l l E. S., G e r k i n g S. D., *Am. J. Physiol.*, 143, 21 (1945).
10. H e r r i n g t o n L. P. (личное сообщение).
11. W i n s l o w C.-E. A., *Trans. Am. Soc. Heat. & Vent. Engin.*, 48, 317 (1942).

ТЕПЛООБМЕН

Постоянство
шего организма
образовавшееся
процессов сгор
время больше
температуры пр
отдает все то т
виях пустыни
тельное тепло н
сеивается. В
ние. Таким обр
в результате вс
ганизме, и, во-в

Отдача тепл
ла. Проведение
дению тела до
имеют более ни
тела человека.
от разницы ме
окружающих п
ных путей и ко
дачи тепла, так
да воздух имее
На испарение
так что если в
то все это тепл
ганизме воды.
получил еще
того, чтобы те
расходовать в

Тепло, обра
транспортирова
Тепло распро
ведения части
ла

Глава III

ТЕПЛООБМЕН, ОБРАЗОВАНИЕ ПОТА И ВОДНЫЙ ОБМЕН

Постоянство температуры — одно из удивительных свойств нашего организма. Если бы в организме человека сохранялось тепло, образовавшееся в состоянии покоя в течение 1 часа в результате процессов сгорания, то температура тела повысилась бы за это время больше чем на 1° . Однако столь значительное повышение температуры происходит очень редко, так как час за часом человек отдает все то тепло, которое образуется в его организме. В условиях пустыни в организм человека часто поступает еще дополнительное тепло из окружающей среды, которое также постоянно рассеивается. В противном случае наступает лихорадочное состояние. Таким образом, в пустыне человек получает тепло, во-первых, в результате всех химических процессов, происходящих в его организме, и, во-вторых, из окружающей среды.

Отдача тепла — процесс, взаимно связанный с получением тепла. Проведение, конвекция и излучение тепла способствуют охлаждению тела до тех пор, пока окружающие его предметы и воздух имеют более низкую температуру, чем некоторые части поверхности тела человека. Следовательно, интенсивность теплоотдачи зависит от разницы между температурой поверхности тела и поверхности окружающих предметов. Испарение воды с поверхности дыхательных путей и кожи является совершенно своеобразным способом отдачи тепла, так как последнее, происходит даже в том случае, когда воздух имеет более высокую температуру, чем тело человека. На испарение каждой грамма воды затрачивается 0,58 ккал, так что если в организме человека за 1 час вырабатывается 100 ккал, то все это тепло отдастся при испарении 173 г содержащейся в организме воды. Если же в течение этого часа человек, кроме того, получил еще 100 ккал тепла за счет солнечного излучения, то для того, чтобы температура его тела не повысилась, он должен израсходовать в течение этого часа 346 г воды.

Тепло, образующееся в каждой ткани организма, должно быть транспортировано к поверхности тела, где оно может быть отдано. Тепло распространяется до поверхности тела частично путем проведения, частично переносится кровью, которая охлаждается у поверхности тела. Каждый литр крови, охлаждающейся на 3° , переносит от внутренних органов примерно 2,5 ккал тепла. Тепло,

полученное от солнца и воздуха, не переносится кровью, так как оно обычно рассеивается получившей его поверхностью. Тем не менее кровеносная система всегда принимает участие в отдаче избытка тепла, и это является одной из ее наиболее важных функций.

Физическая работа

Обычно считается, что в условиях пустыни, работоспособность людей крайне ограничена. Какие же данные свидетельствуют об этом?

Люди, находящиеся в пустыне в течение 1—2 недель, постепенно акклиматизируются. Привыкание к жаре происходит автоматически в результате повторного или продолжительного пребывания в соответствующих условиях и проявляется уже в первые несколько часов в замедлении пульса, понижении ректальной температуры и способности выполнять более тяжелую работу. Чувство теплового угнетения жарой уступает место хорошему самочувствию. Как правило, полная акклиматизация происходит за 3—5 дней.

Акклиматизировавшиеся в условиях пустыни люди могут ходить быстрым шагом даже в самое жаркое время дня и работать, хотя и с ограниченной скоростью, выполняя большую часть своих, обычных для умеренного климата обязанностей.

Выполнение тяжелой работы может вызвать образование тепла до 400 ккал/час. Когда терморегуляционные возможности человека ограничены, он должен менее интенсивно работать для того, чтобы поддерживать свой теплообмен на одном уровне. Совершенно очевидно, что в условиях пустыни тяжелую работу можно выполнять только в том случае, если устраивать периоды отдыха, во время которых организм человека будет освобождаться от избытка тепла.

Следовательно, в условиях пустыни возможность людей выполнять физическую работу ограничена (см. фиг. 15). Это понижение работоспособности не очень велико при наличии достаточного количества питьевой воды. Испытуемые могут ходить с максимальной быстротой, копать землю и поднимать тяжести. Однако во время нескольких предпринятых нами длительных испытаний, при которых теплопродукция равнялась 680 ккал/час, температура тела испытуемых быстро повышалась. За 30 мин. ректальная температура поднялась на 2,5°. Очевидно, в этом случае теплообмен не мог сохраняться на постоянном уровне. Повышение температуры тела является удобным критерием для решения вопроса о том, не слишком ли трудна данная работа, чтобы ее можно было выполнять в течение неограниченно долгого времени.

Необходимо сказать несколько слов о самочувствии и моральном состоянии людей, работающих в пустыне. Даже самые энер-

гичные люди в у-
ленная атмосфера
и для ее выполне
Возможно, что п
нительной нагруз
ное получение теп
Люди, хорошо
дения обладают
ные особенности
ловеческого орга
качества могут бы
установить, в чем
обрести. Вместо т
выполнение работ
ности людей, след
ческого организма
выполняемого в

Организм чело
бы, может легко
запаса. Однако
составляющие ли
заметные наруше
стро выводится ч
зовывать мочу, а
ся потреблением
Ежедневно ок
и примерно еще
дыхательных пут
Эти потери точно
е пище и питье.
является конечн
незначительное к
умов со средней
функция пото
необходимостью
ния этой задачи
В течение дня че
израсходовать 10
компенсируется
траченной на охл
са необходимо в
В условиях п
ния водного обм

гичные люди в условиях пустыни предпочитают безделье. Раскаленная атмосфера отбивает охоту ко всякой физической работе, и для ее выполнения в этих условиях необходимы большие усилия. Возможно, что подобное чувство усталости является мерой дополнительной нагрузки на организм, которую влечет за собой избыточное получение тепла (см. главу XII).

Люди, хорошо переносящие условия жизни в пустыне, от рождения обладают некоторыми качествами; поскольку эти врожденные особенности выражаются во вполне измеримых функциях человеческого организма, их определение — дело физиологов. Эти качества могут быть также и приобретенными, и физиологи должны установить, в чем они заключаются и каким образом их можно приобрести. Вместо того чтобы возлагать вину за выполнение или невыполнение работы в условиях пустыни на индивидуальные особенности людей, следует установить, какие «рабочие» качества человеческого организма являются основой для любого вида деятельности, выполняемого в пустыне.

Водный обмен

Организм человека на две трети состоит из воды и, казалось бы, может легко перенести потерю некоторой доли столь большого запаса. Однако в действительности избыток или дефицит воды, составляющие лишь 1% этого общего количества, уже вызывают заметные нарушения в организме. Избыточное количество воды быстро выводится через почки, начинающие более интенсивно образовывать мочу, а недостаток по возможности быстро компенсируется потреблением воды.

Ежедневно около 1 л воды выводится из организма в виде мочи и примерно еще 1 л теряется при испарении с поверхности кожи и дыхательных путей, даже без какого-либо участия потовых желез. Эти потери точно возмещаются поступлением воды, содержащейся в пище и питье. За счет химических превращений, в которых вода является конечным продуктом, организм получает только очень незначительное количество воды: всего 300 см³ в день у индивидуумов со средней интенсивностью жизненных процессов.

Функция потовых желез почти исключительно обуславливается необходимостью отдавать большее количество тепла. Для выполнения этой задачи они расходуют воду, содержащуюся в организме. В течение дня человек может выделять пота до 1 л/час, а за сутки израсходовать 10 л воды. Эта громадная добавочная потеря воды компенсируется только питьем. Лишь для возмещения воды, затраченной на охлаждение организма путем испарения, за эти 24 часа необходимо выпить огромное количество воды.

В условиях пустыни не всегда возникают однозначные изменения водного обмена; некоторые типичные его особенности резко уси-

ливаются, другие остаются неизменными. Таким образом, влияние пустыни обнаруживается только в количественном изменении водного обмена, и оценивать это действие следует опытным путем. Наша задача прежде всего заключалась в измерении общего водного обмена человека в условиях пустыни, а следовательно, и в определении его потребности в воде.

При этом мы интересовались только потребностью в питьевой воде, не учитывая расхода воды на нужды санитарии. Практически для количественного определения потребления питьевой воды нельзя обойтись без измерения потерь воды, потребности в ней и водного обмена.

Потеря воды организмом человека

В пустыне, как и в любом другом месте, вода, содержащаяся в организме, расходуется главным образом на испарение и образование мочи; потеря воды с калом очень мала, обычно не больше $100-200 \text{ см}^3$ в день. Потери воды с мочой в условиях пустыни велики и относительно постоянны. Поэтому в первую очередь мы занялись определением потерь воды за счет испарения, так как именно они являются главным путем расходования воды, наиболее непостоянным и заметно изменяющимся в условиях пустыни.

Обычно различают испарение воды из дыхательных путей и с поверхности кожи. Кроме того, часть воды, испаряющейся через покровы тела, может и не включаться в секрет потовых желез, так как сам эпидермис до некоторой степени проницаем для испаряющейся воды. Однако такое разделение процесса испарения не имеет практического значения, так как тело человека одинаково охлаждается при любом способе испарения. Следует только напомнить, что секреторная деятельность потовых желез необходима при интенсивном испарении (больше $60 \text{ см}^3/\text{час}$).

В условиях пустыни величина испарения, как правило, значительно превышает указанную, причем наибольшее количество испаряющейся воды выделяется потовыми железами. Поэтому мы пользуемся как синонимами терминами «величина потоотделения» и «величина испарения». Однако нужно отметить, что хотя такая условность и удобна, она может все же привести к ряду недоразумений. Пока необходимо лишь подчеркнуть, что «пот» это не только та влага, которая видна на поверхности кожи. В пустыне кожа и одежда кажутся сухими, потому что влага испаряется сразу как только достигает поверхности тела. Это явление покажется еще более удивительным, если мы вспомним, что в условиях пустыни ежечасно может испаряться до 1 л воды.

Наша методика измерения потерь воды путем испарения была чрезвычайно проста. В начале эксперимента испытуемые взвешивались с точностью до $\pm 10 \text{ г}$. Во время испытания все они выполняли

одинаковую работу и в течение одинакового времени подвергались действию высокой температуры. По прошествии 1—5 час. их снова взвешивали, и поскольку между первым и вторым взвешиваниями испытуемые не принимали ни пищи, ни воды, то вес их тела уменьшился. Так как во время испытания не имели места ни мочеиспускание, ни дефекация, то эту потерю в весе тела можно было объяснить только расходом содержащейся в организме воды. Конечно, это уменьшение веса тела отчасти связано и с газообменом. Так, выдыхаемый за 1 час углекислый газ может весить на 5 г больше, чем поглощенный за это время кислород, однако уменьшение веса тела, обусловливаемое газообменом, ниже 1%. Вместе с потом выделяется также небольшое количество веществ, но поскольку они скапливаются на поверхности кожи и на одежде они не учитываются в измеряемой нами потере веса тела. Следовательно, можно считать, что потеря веса (вероятно, 99%) происходит за счет воды, испаряющейся с поверхности кожи и дыхательных путей. Величина потери веса выражается в граммах в час и, как уже указывалось выше, в сущности, эквивалентна «величине потоотделения» и «величине испарения». Дневная потеря воды за счет испарения определялась путем суммирования отдельных данных, полученных в результате многочисленных кратковременных испытаний.

Образование пота

Поскольку в условиях пустыни большая часть воды, испаряющейся из тела человека, выделяется потовыми железами, необходимо несколько подробнее остановиться на образовании и составе пота. Пот секретруется мелкими железами, расположенными по всей поверхности тела. Каждая железа микроскопически мала и имеет извитой проток, открывающийся порой на поверхности кожи. Было вычислено, что в среднем человек имеет примерно 2 500 000 потовых желез. Эта цифра была получена путем подсчета функционирующих пор на нескольких участках кожи известного размера [1] и последующего определения общей площади поверхности тела, которая у человека среднего роста весом 70 кг составляет примерно 17 000 см².

Деятельность отдельных потовых желез можно наблюдать, нанося на поверхность кожи тонкий слой масла и затем согревая это место. При помощи ручной лупы можно увидеть у каждой из многочисленных пор капельку жидкости, которая под слоем масла, препятствующим ее испарению, увеличивается в размерах. Без масла капельки пота внезапно появляются, в течение нескольких секунд остаются на поверхности кожи и затем медленно испаряются. Внезапное появление капелек пота указывает на периодическое выкачивание жидкости, происходящее, вероятно, при сокращении мышечных волокон, связанных с железами [2]. Так как эти быстро

исчезающие капельки слишком малы для того, чтобы быть ясно видимыми невооруженным глазом, можно легко понять, почему пот, выделяющийся в условиях сухой атмосферы, остается невидимым.

В результате химических анализов было установлено, что пот представляет собой слабый водный раствор, содержащий крайне незначительные количества многих веществ, имеющих в плазме крови. Соли молочной кислоты являются почти единственной составной частью, концентрация которой в поте больше, чем в плазме крови. Так как в организме человека молочная кислота постоянно образуется из сахара и других углеводов, имеющих в больших количествах, то выделение молочнокислых солей не приводит к сколько-нибудь значительному их дефициту. В последнее время биохимиков интересует вопрос выведения с потом водорастворимых витаминов. Однако было обнаружено, что, за исключением отдельных, вероятно, редких случаев, эти потери обычно слишком малы, чтобы иметь какое-либо значение. Кроме солей молочной кислоты, главной составной частью пота является хлористый натрий; грубо говоря, пот представляет собой 0,1—0,2-процентный раствор NaCl. Несмотря на то, что в теле человека содержится огромное количество хлористого натрия, недостаток его ощущается (так же, как и недостаток воды) даже при самом незначительном дефиците. Именно вследствие этого, при обильном потоотделении часто возникает необходимость в усиленном потреблении соли (см. главу VI). Значительная нехватка соли в организме человека не возникает так быстро и так часто, как недостаток воды. Поэтому необходимо особенно подчеркнуть потребность в воде в условиях пустыни, а все остальные изменения в обмене веществ рассматривать как имеющие меньшее значение.

Выделение пота может быть вызвано самыми различными причинами. Оно легко возникает при эмоциональных возбуждениях, в частности при болевых ощущениях, и очень характерно для состояния «морской болезни». Это явление иногда называется «холодным потоотделением», потому что в его возникновении не участвуют термические факторы. Однако в условиях пустыни потоотделение обуславливается главным образом влиянием жары. Увеличение потоотделения под влиянием высокой температуры происходит вследствие того, что каждая функционирующая потовая железа начинает быстрее продуцировать пот и, кроме того, в действие вступают железы с более высоким порогом раздражения [2]. Какими бы раздражениями ни вызывалось потоотделение, нормальное функционирование потовых желез зависит от их иннервации. Однако выяснение нервного механизма потоотделения выходит за пределы интересующей нас в данный момент проблемы.

Выделение пота следует рассматривать скорее как терморегуляторный механизм, чем как процесс экскреции. Потоотделение

вызывается главным образом термическими факторами, а испарение пота соответственно способствует удалению избытка тепла. Так как пот представляет собой крайне слабый раствор, то он состоит почти исключительно из содержащейся в организме воды. Однако охлаждение организма имеет, очевидно, большее значение, чем содержание в нем воды. Пот идеально приспособлен для охлаждения организма при помощи испарения, ибо кроме воды на его образование тратится лишь небольшое число веществ, входящих в состав организма.

Можно было бы предполагать, что при недостаточном содержании воды в организме образуется меньшее количество пота. Однако несмотря на широкое распространение подобного представления, дефицит воды в организме, равный 10% веса тела, не сопровождается сколько-нибудь значительным торможением потоотделения (см. главу IV); напротив, организм человека продолжает тратить драгоценный запас воды. И хотя эта вода необходима для многих физиологических функций, она расходуется для сохранения постоянной температуры тела.

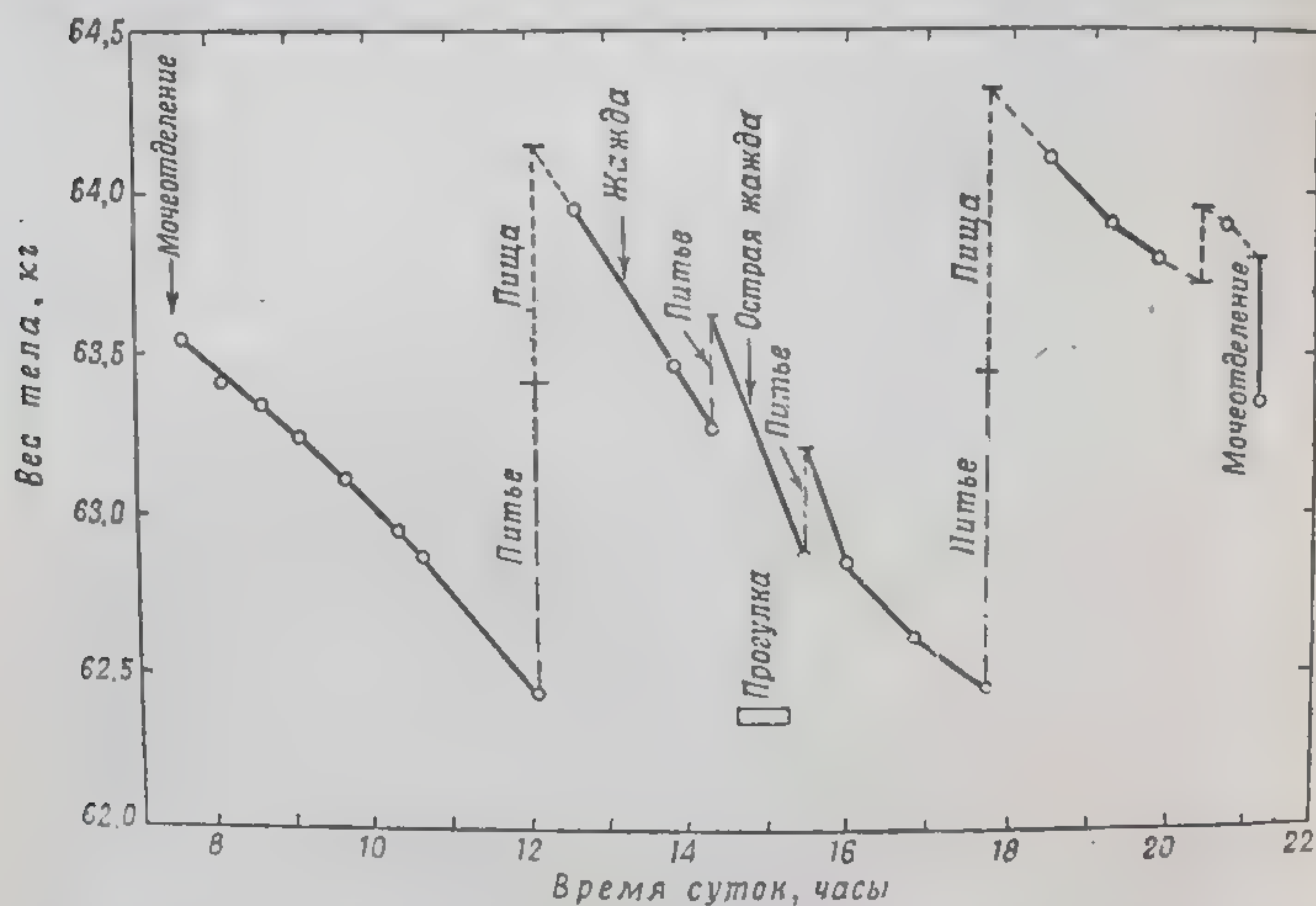
Что же произойдет, если искусственно затормозить, например при помощи атропина, процесс потоотделения? Как только уменьшается потоотделение, человек лишается необходимого средства охлаждения тела, температура его повышается и появляются все расстройства, характерные для лихорадочного состояния. В условиях пустыни всякое нарушение деятельности потовых желез очень опасно. Во всех тех случаях, когда окружающий воздух имеет более высокую температуру, чем поверхность кожи, единственным известным средством, при помощи которого можно надежно уменьшить выделение пота, является уменьшение теплопродукции в организме (см. главу VIII).

Кругооборот воды

Чувство жажды определяет частоту приемов и количество выпиваемой жидкости. В пустыне при наличии питьевой воды человек обычно пьет часто и помногу. Однако ощущение жажды обнаруживает характерное отставание во времени и проявляется позже возникновения водного дефицита в организме (см. главу XVI). Из-за этого отставания недостаток воды в организме увеличивается и, ликвидируясь периодически при питье воды, вызывает в течение дня значительные колебания в весе тела. Эти колебания гораздо более заметны в условиях пустыни, чем в умеренном климате.

На фиг. 18 показана зигзагообразная кривая изменения веса тела у солдата в течение части дня при обычном несении службы в условиях лагеря. За исключением периодов приема пищи и воды, кривая показывает стойкое уменьшение веса тела. Оно соверша-

лось быстрее в более жаркие часы и было максимальным во время послеполуденного пешего перехода; вес тела менялся на 150—700 г/час. Таким образом, испарение пота зависит от условий, в которых выполняется работа и в которых человек находится на солнцепеке (см. главу IV). Кривая на фиг. 18 показывает также изменения веса тела, вызванные приемом пищи и воды. Приемы воды



Фиг. 18. Изменение веса тела человека в течение дня в пустыне. (Обычная лагерная деятельность с короткой прогулкой в послеполуденное время 19 августа 1942 г.)

учащаются в послеполуденное время, причем бо́льшая часть воды принимается вместе с пищей, хотя за исключением короткого пешего перехода, совершенного в послеполуденное время, вода все время находилась в распоряжении испытуемого. Общее количество воды, выпитой за 10 час., представленных на графике, было равно 3,05 л.

Для того чтобы определить суточный кругооборот жидкости в организме, можно измерить у человека или общую потерю воды или общее поступление жидкости в организм. За длительные промежутки времени количество принятой воды равняется количеству выведенной. Окисление пищевых веществ в организме дает ежедневно 300—400 см³ воды, образование которой приблизительно балансируется потерей воды с калом, и поэтому ею можно пренебречь. Цикл потерь и поступления воды обычно завершается в течение 24 час. Показателем этого является тот факт, что ежедневно в одни

и те же часы вес тела обычно бывает одинаковым. Это положение остается в силе, несмотря на то, что водный дефицит может наблюдаться в течение всего 24-часового периода, подобно тому, как на фиг. 18. И все же это не универсальное правило, так как оно нарушается в том случае, когда нарушается пищевой режим и за несколько часов до следующего взвешивания человек не принимал ни воды, ни пищи. В качестве примера можно привести данные табл. 2, свидетельствующие о постоянстве веса тела испытуемого субъекта после завтрака в течение ряда дней, хотя в пределах каждого дня колебания веса превышали 1 кг. Фактический оборот воды за 24 часа, частично представленный на фиг. 18, составлял 5 л.

Таблица 2

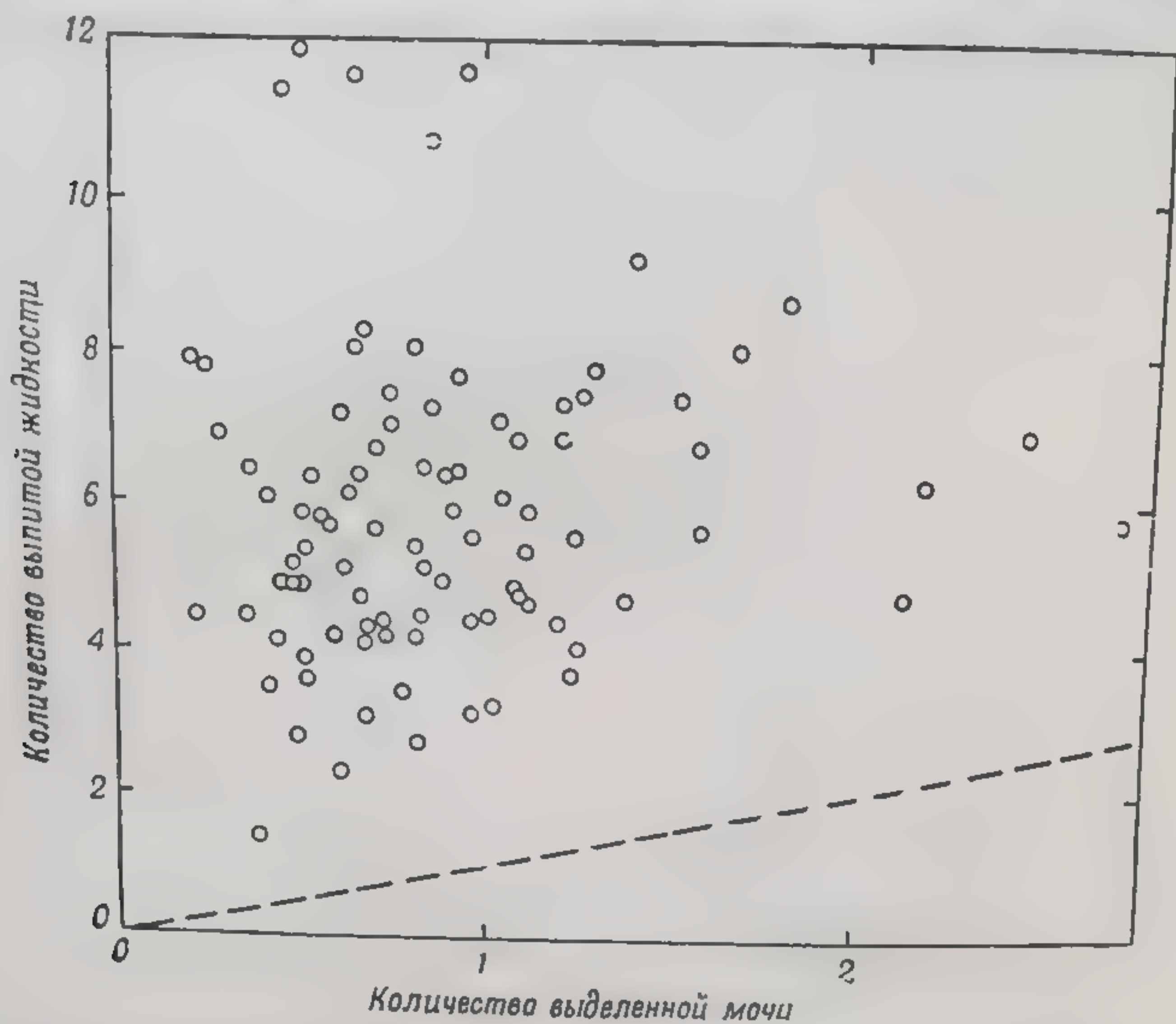
ВЕС ТЕЛА У ОДНОГО ИСПЫТУЕМОГО
В РАЗНЫЕ ДНИ

Дата	Вес тела, кг
3.IX 1942 г.	73,84
4.IX	73,79
5.IX	73,75
6.IX	73,29
7.IX	72,69
8.IX	72,76
12.IX	72,92
13.IX	73,12
Средний вес	73,27
Стандартное отклонение	$\pm 0,44$

Очевидно, при более длительном лишении воды цикл потерь и поступления продолжается больше 24 час. Фаза восстановления нормального водного баланса после тяжелого водного дефицита может длиться более дня. Однако ни в одном случае не наблюдалось заметной экономии воды в результате временного ограничения питья, ибо дегидратация лишь незначительно уменьшает потерю воды и всегда в конце концов компенсируется выпитой жидкостью.

Изучая потребление воды организмом человека, мы попытались установить, возможно ли его пересыщение водой. Приводит ли неограниченное потребление воды к излишне большому содержанию ее в организме? Фиг. 19 дает сводные данные 91 исследования потребления воды за день в пустыне и сопутствующего ему выделения мочи. Никакой корреляции между этими процессами обнаружить не удалось. Минимальный объем мочи (0,7 л в день) выделялся даже при максимальном приеме жидкости. Следовательно,

можно сделать вывод, что выпитая вода была необходима для образования пота, ибо в противном случае большее количество ее было бы выведено из организма в виде мочи. Несомненно, что образование пота не является простой утечкой воды, ибо оно точно регулируется потребностью в теплоотдаче. Данные фиг. 19 совершенно ясно свидетельствуют о том, что пересыщение водой в условиях пустыни представляет собой крайне необычное явление.



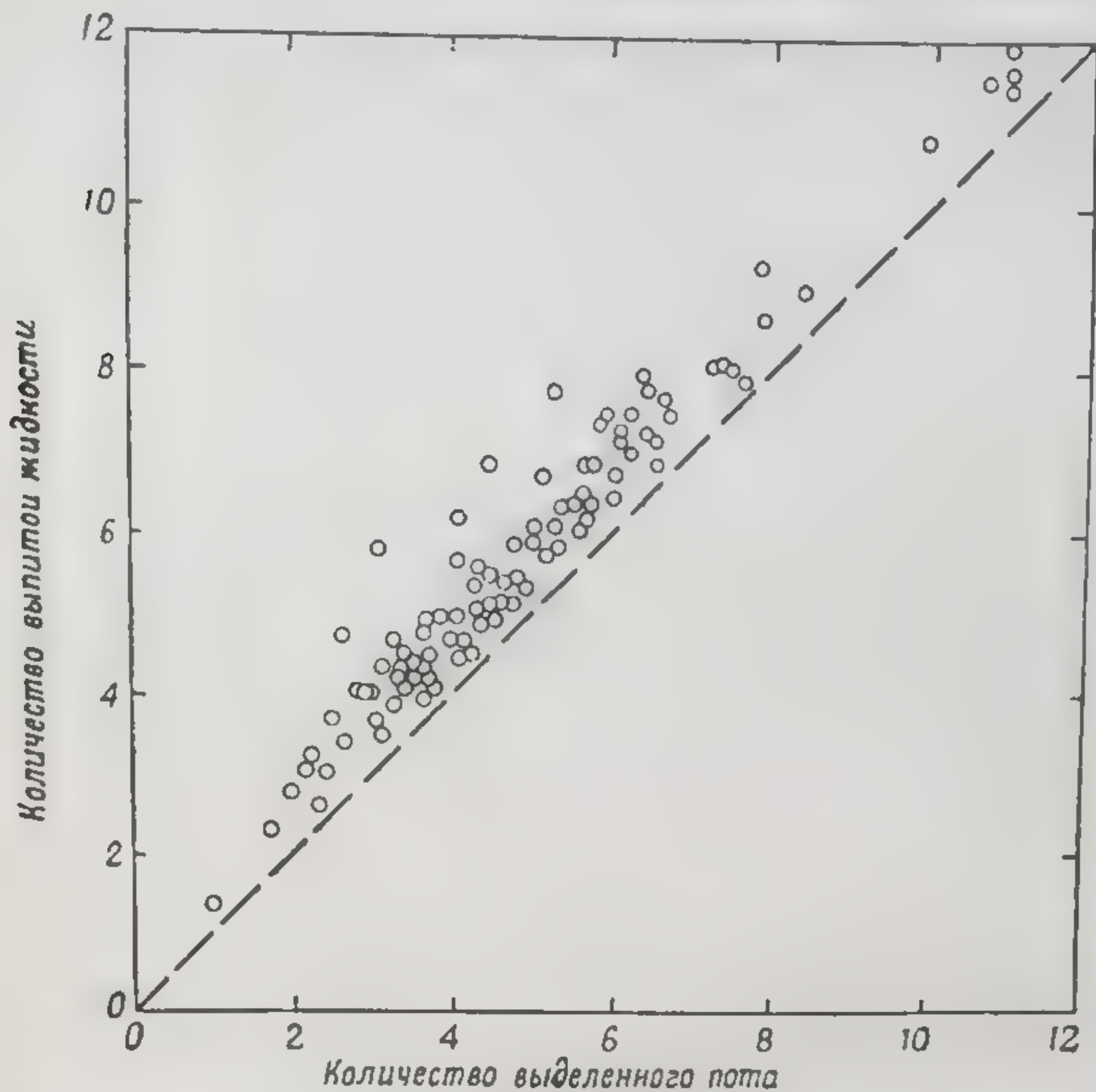
Фиг. 19. Соотношение между количеством выпитой жидкости и количеством выделенной мочи (л/сутки). Пунктирная линия соединяет точки, в которых это отношение равно 1; кружки — результаты определений.

Суточную продукцию пота можно точно определить, вычтя из количества выпитой жидкости количество выведенной из организма мочи (фиг. 20). Результаты этого расчета, основанного на тех же самых данных, что и предыдущий график, показывают, что в пустыне почти вся поступающая в организм жидкость расходуется на образование пота. Правильность его подтверждается восстановлением веса тела через каждые 24 часа, как об этом свидетельствуют данные табл. 2. Следовательно, можно считать, что «твердые» части пищи по весу приблизительно равны нерастворимым составным частям мочи, кала и выдыхаемому воздуху. Подобные допущения не уменьшают ценности этого косвенного метода.

Количество выпитой жидкости

Фиг. 20. Соотношением выделенной мочи, в котором

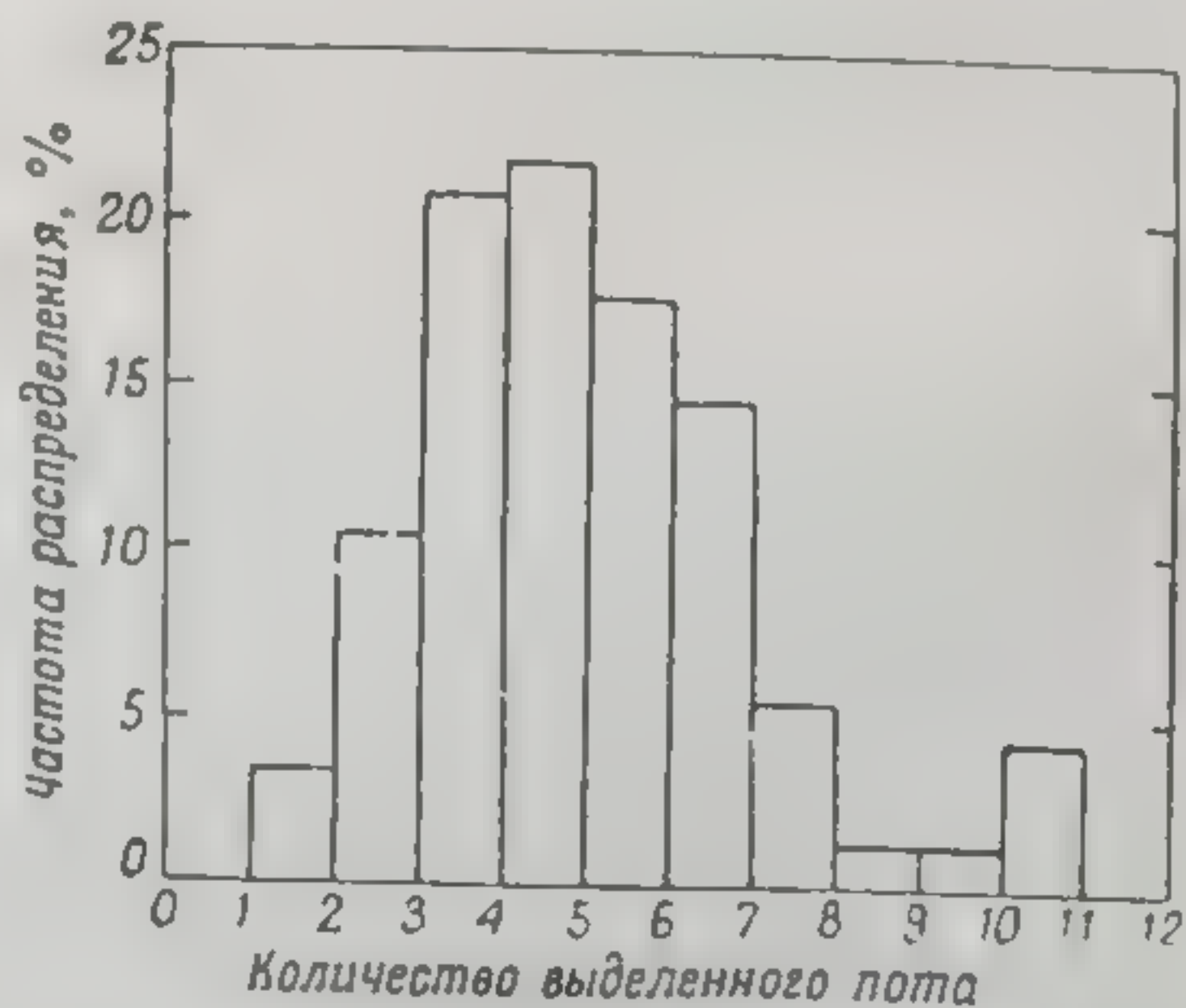
Выше указыва...
количество воды, р...
испарение, мож...
по уменьш...
в том слу...
вещества...
организм...
из него. З...
вещества пр...
пог...
коротких...
месе...
на учете...
жидк...
образо...



Фиг. 20. Соотношение между количеством выпитой воды и количеством выделенного пота (л/сутки). Пунктирная линия соединяет точки, в которых это отношение равно 1; кружки — результаты определений.

Выше указывалось, что количество воды, расходуемой на испарение, можно определить по уменьшению веса тела в том случае, когда никакие вещества не поступают в организм и не выводятся из него. Этот метод взвешивания пригоден для определения потерь воды в течение коротких интервалов времени.

Косвенный метод, основанный на учете количества поглощенной жидкости, дает возможность удовлетворительным образом определять



Фиг. 21. Потоотделение (л/сутки) у 91 испытуемого при выполнении различной работы в условиях пустыни.

потери воды за счет испарения за период в 24 часа и больше. Более того, поскольку этот метод не требует наличия весов, он применим в любых условиях. У солдат, подвергавшихся испытаниям во время выполнения различных обязанностей в условиях пустыни, за каждые 24 часа в среднем выделялось 4,1 л пота (фиг. 21). При сборе данных, касающихся поглощения воды людьми, находящимися в различных условиях жизни в пустыне, мы пользовались как краткосрочными, так и длительными измерениями.

Для физиолога многие из приведенных выше наблюдений являются аксиомами или, по меньшей мере, общезвестными фактами. Какие из данных нами объяснений спорны, можно будет решить впоследствии, когда мы будем располагать более детальными сведениями. Пока же приведенные нами положения помогут читателю составить представление о потребности в воде человека, находящегося в пустыне, и дополнят наблюдения, излагаемые в последующих главах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Купо Y., *Lancet*, 1, 299 (1938).
2. Купо Y., *The Physiology of Human Perspiration*, London, Churchill, p. 217, 1934.

Глава IV

ПОТООТДЕЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ

Испарение содержащейся в организме воды является процессом отдачи тепла и, таким образом, способствует сохранению постоянной температуры тела. Общая величина теплоотдачи совершенно не зависит от того, на какой части тела совершается испарение и заметна ли на поверхности кожи выступившая влага. При температуре воздуха, превышающей 33° (выше средней температуры кожи), испарение является единственным физиологическим механизмом, при помощи которого человек может освободиться от излишнего тепла. Таким образом, для сохранения теплового баланса все полученное тепло должно быть отдано посредством испарения пота; следовательно, интенсивность потоотделения зависит от всех тех факторов, которые вызывают повышение температуры тела человека.

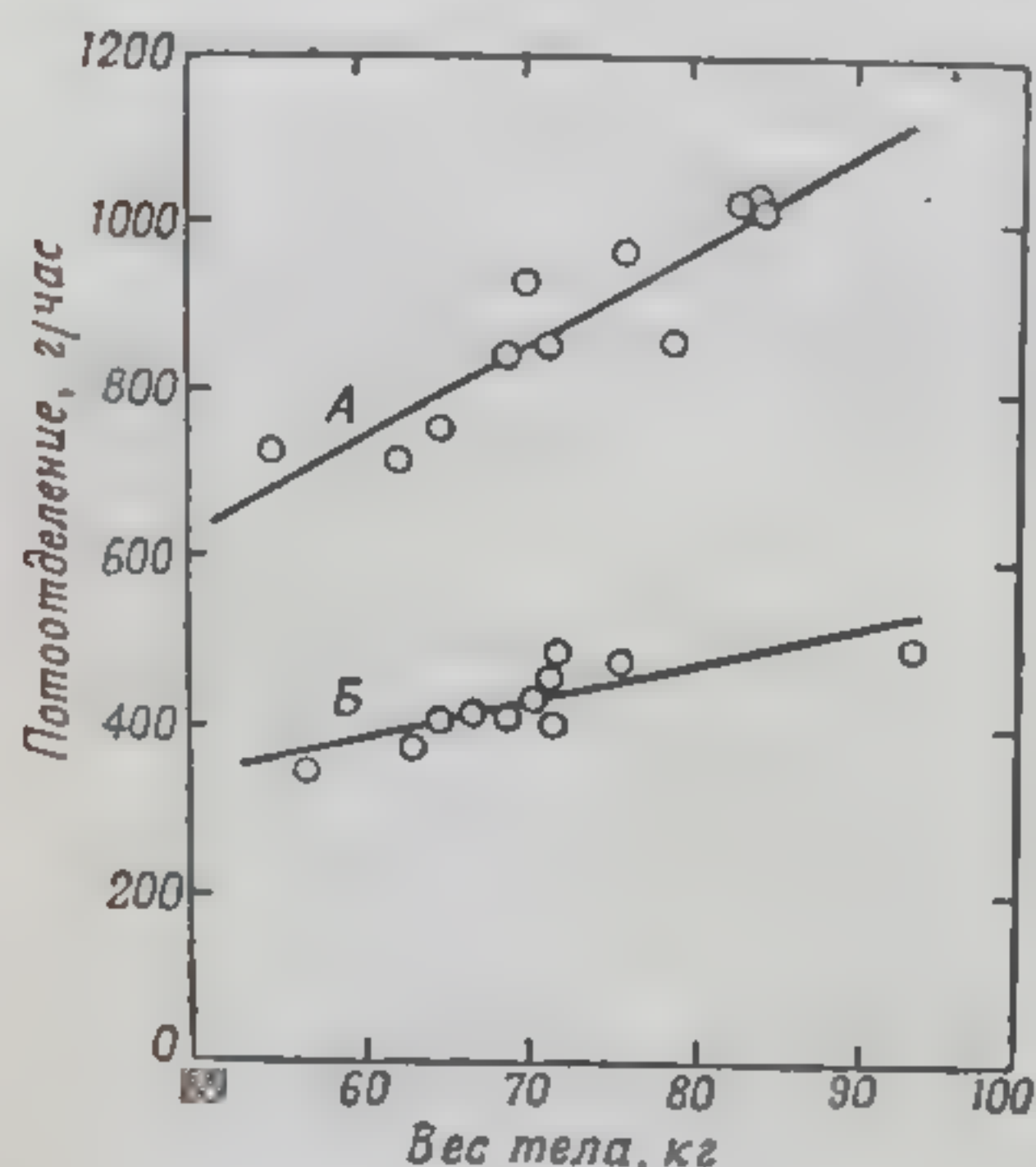
Все получаемое организмом человека тепло можно разделить на собственное тепло, образующееся в результате процессов метаболизма, и экзогенное тепло, т. е. тепло, поступающее из внешней среды. Количество метаболического тепла, образующегося в организме человека, зависит от размеров последнего и его физической активности. Приток тепла из окружающей среды, о котором шла речь в предыдущих главах, в значительной степени варьирует в зависимости от наличия различных факторов (одежда, разного рода укрытия). Знание этого теплообмена (см. главу V) создает рациональные основы для объяснения величин потоотделения, наблюдающихся в условиях пустыни.

Для того чтобы получить сравнимые данные относительно величин потоотделения в условиях пустыни, были проведены контрольные испытания. Эти испытания проводились летом 1942 г. в Калифорнии, восточнее Индио, на солдатах. Скорость ходьбы во время испытаний была достаточно велика ($5,5 \text{ км/час}$), а рыхлый песок сильно затруднял передвижение. Хорошо защищенный от солнца термометр в нашей полевой лаборатории, расположенной неподалеку от места испытаний, показывал $41,6^{\circ}$. Испытуемые были одеты полностью или полуодеты (при проведении других экспериментов этот фактор подвергался контролю), через каждый час ходьбы они взвешивались и в зависимости от цели эксперимента либо снабжались водой, либо лишались ее.

Во время эксперимента у испытуемых обнаружилась различная величина потоотделения (этот термин употребляется как синоним выражения «величина потери воды путем испарения»). Более того, у одного и того же лица она варьировала от испытания к испытанию. Прежде всего необходимо было объяснить колебания потоотделения в течение одного испытания, а затем уже попытаться оценить значение каждого фактора, неизменно оказывающего влияние на величину испарения в условиях пустыни¹.

Влияние веса тела

На фиг. 22 графически представлены результаты двух экспериментов, причем на оси ординат отложена величина потоотделения, на оси абсцисс — вес испытуемого без одежды. В каждом эксперименте выполняемая испытуемыми работа и время пребывания



Фиг. 22. Зависимость между величиной потоотделения и весом тела. Каждая точка соответствует одному определению. Эксперименты проводились 23 и 24 сентября 1942 г. А — при ходьбе; Б — в сидячем положении.

на солнце были по возможности одинаковыми. Все испытуемые были одеты в костюмы из бумажной диагонали. Температура воздуха равнялась примерно $37,7^{\circ}$.

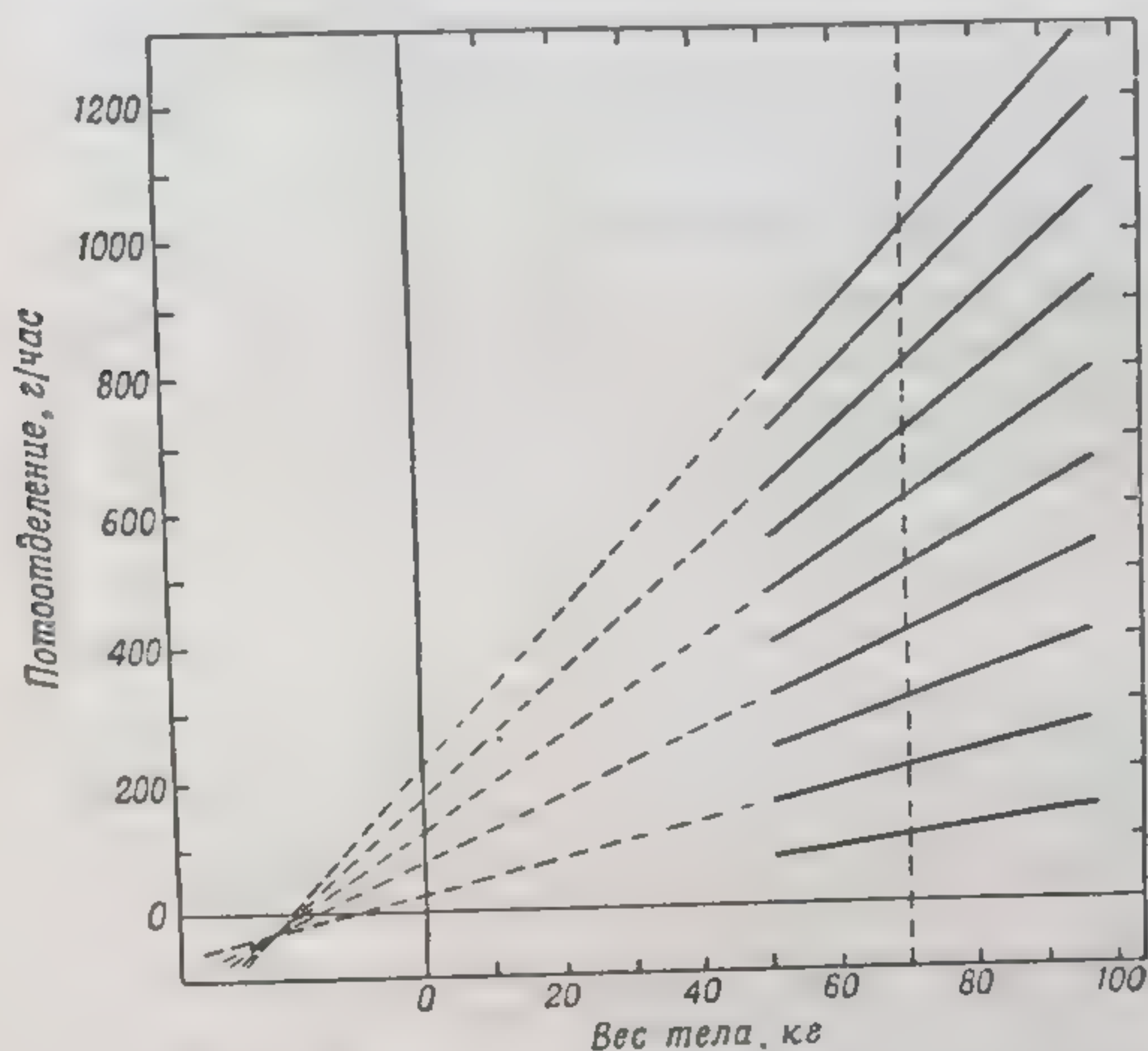
Изображенные на фиг. 22 прямые рассчитаны по методу наименьших квадратов, постоянно применяемому нами при обработке материала и позволяющему получить наименьший разброс по ординате. На графике видно, что у людей большого веса испаряется большее количество влаги, чем у людей малого веса. В этих двух испытаниях коэффициенты детерминации равнялись 0,83 (линия А) и 0,80 (линия Б). Следовательно, во время ходьбы 83% колебаний в величинах потоотделения обусловлены разницей в весе тела. Остальным 17% нельзя дать точное объяснение; возможно, что они

зависят от незначительных различий в активности и времени пребывания на солнце.

Прямые, изображенные на фиг. 22, имеют разный наклон (большой — у прямой, соответствующей данным, полученным во время ходьбы). Это обстоятельство может указывать на то, что при воз-

¹ Технические сведения приводятся в серии приложений (I—IV) в конце этой главы.

растании веса тела величина потоотделения повышается тем больше, чем длительнее пребывание на солнце и тяжелее выполняемая работа. Для проверки этого предположения были необходимы дальнейшие исследования. Мы воспользовались данными проведенных в полевых условиях 35 испытаний, хотя они и были первоначально предназначены для другой цели. Условия, в которых проводились



Фиг. 23. Зависимость между величиной потоотделения и весом тела. Все линии построены по данным фиг. 35 (стр. 73; сплошная линия). Принимается, что потоотделение пропорционально весу тела. Отдельные линии соответствуют различным условиям. Пунктирная часть линий соответствует весу тела ниже 50 кг. В наших опытах не было испытуемых с подобным весом тела.

эксперименты, находились под постоянным контролем для того, чтобы можно было достигнуть единообразия в пределах каждого испытания. Однако отдельные эксперименты отличались друг от друга по наличию нескольких факторов, влияющих на величину потоотделения, а именно: физической активности, температуры воздуха и защиты от солнечных лучей (см. табл. 4).

На фиг. 23 представлена зависимость между величиной потоотделения и весом тела испытуемого (без одежды); график построен на основании данных полевых испытаний, подробно изложенных в приложении I. Каждая из наклонных линий соответствует или выполнению работы различной тяжести, или разной продолжительности пребывания на жаре, или и тому и другому одновременно. Так как потоотделение зависит от веса тела, то у всех испытуемых,

выполнявших одну и ту же работу и подвергавшихся действию высокой температуры в течение одинакового времени, величина потоотделения укладывалась в одну из линий этого графика. При условии, что все испытуемые в равной степени подвергаются действию одинаковых факторов, вопрос о том, какие из факторов определяют величины потоотделения, не имеет существенного значения. Таким образом, изображенная на графике зависимость носит общий характер и подтверждает наши представления о широких колебаниях величины потоотделения (ниже 100—выше 1 000 г/час).

Влияние величины поверхности тела

Зависимость между потоотделением и размерами тела следует исследовать более подробно. Кривые фиг. 24, показывающие зависимость между величиной потоотделения и весом тела, построены на основе представления о том, что у человека расходование пота пропорционально весу тела (B) в степени $2/3$ ($B^{2/3}$). Известно, что у человека среднего роста поверхность тела пропорциональна $B^{2/3}$ [1], исключая людей с необычным сложением. Таким образом, фиг. 24 показывает зависимость между потоотделением и площадью поверхности тела (если принять, что потоотделение пропорционально величине поверхности тела, вычисленной по весу тела), а не линейную зависимость между потоотделением и весом тела, показанную на фиг. 23.

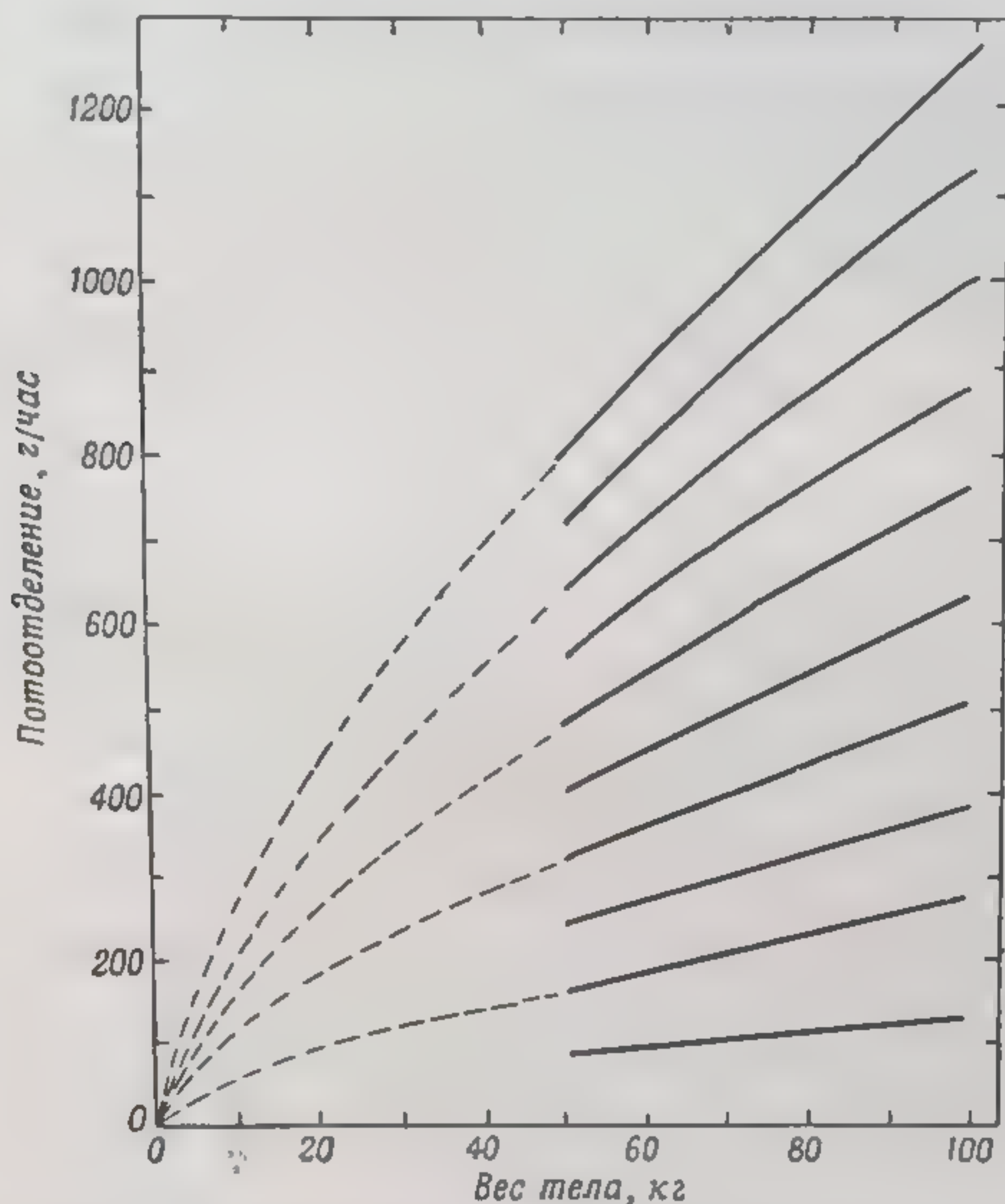
Интересно сопоставить график, построенный на основании экспериментальных данных (см. фиг. 23), с графиком, построенным по вычисленным данным (см. фиг. 24). В отличие от фиг. 23 все линии фиг. 24 обладают кривизной и экстраполированы до действительной исходной точки. Однако графически выраженные результаты исследований испытуемых с весом тела 50—100 кг дают прямые. Кривизну линий фиг. 24 можно было бы обнаружить только в том случае, если испытуемые имели бы меньший вес тела. Ординаты обоих графиков, за исходную точку которых взят вес тела в 70 кг, не различаются больше чем на 5% на любом участке между 50 и 100 кг. Полученные нами в полевых условиях данные недостаточно точны для того, чтобы можно было уловить различие между этими двумя способами изображения; оба пригодны в одинаковой степени. Физиологам уже давно известно, что у человека интенсивность метаболизма (т. е. метаболическая теплопродукция) пропорциональна поверхности его тела. Но поскольку тепло, поступающее из внешней среды, проникает в организм человека только через эту же самую поверхность, можно предполагать, что поступление экзогенного тепла также пропорционально поверхности тела. При постоянной температуре тела величина потоотделения зависит от количества тепла, продуцируемого в организме, плюс количество тепла, поступающего извне. Рассуждая таким образом,

мы имеем все
между величинами
однако, это не
экспериментальны
виях, в которых
на теплообмен
этому представ
на фиг. 24

Потоотделение, г/час

Кроме чис
меров тела не
дальности ка
чески ему не
туемых, нахо
хотя он не мо
ния даже в н
Так как м
лебаний ве
ческой

мы имеем все основания ожидать наличия прямой зависимости между величиной потоотделения и поверхностью тела. До сих пор, однако, это положение не было подтверждено убедительными экспериментальными данными, полученными в таких полевых условиях, в которых окружающая среда оказывала большое влияние на теплообмен человека. Так как наши материалы не противоречат этому представлению, мы даем их в виде графика, приведенного на фиг. 24.



Фиг. 24. Зависимость между величиной потоотделения и весом тела. Принимается, что величина потоотделения пропорциональна поверхности тела.

Кроме чисто теоретического интереса данные относительно размеров тела необходимы исследователю, желающему оценить в отдельности каждый фактор, влияющий на потоотделение. Практически ему неизбежно придется сравнивать несколько групп испытуемых, находящихся в различных экспериментальных условиях, хотя он не может ожидать у них одинаковой величины потоотделения даже в идентичных условиях.

Так как мы имеем все основания приписать большую часть колебаний величины потоотделения (при условии одинаковой физической деятельности и одинаковой продолжительности пребывания

на солнце) разнице в размерах тела, то зависимость между величиной потоотделения и $B^{3/4}$ дает нам возможность непосредственно сравнивать несколько групп испытуемых, отличающихся по среднему весу тела. В табл. 3 даны коэффициенты, позволяющие легко исключить разницу в весе тела испытуемых, и величины потоотделения, полученные путем измерения, перевести на потоотделение «стандартного испытуемого субъекта». В качестве стандартного веса берется 70 кг, так как он ближе к весу среднего солдата, рост которого равен 173 см [2].

Таблица 3

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ ПРИВЕДЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПОТОТДЕЛЕНИЯ У ЛЮДЕЙ РАЗЛИЧНОГО РОСТА (или веса) К ВЕЛИЧИНЕ ПОТОТДЕЛЕНИЯ ПРИ СТАНДАРТНОМ ВЕСЕ 70 кг

Вес тела (без одежды), кг	Коэффициент ¹⁾	Вес тела (без одежды), кг	Коэффициент ¹⁾	Вес тела (без одежды), кг	Коэффициент ¹⁾
50	1,25	66	1,04	82	0,90
52	1,22	68	1,02	84	0,885
54	1,19	70	1,00	86	0,87
56	1,16	72	0,98	88	0,86
58	1,13	74	0,96	90	0,845
60	1,11	76	0,945	92	0,835
62	1,08	78	0,93	94	0,82
64	1,06	80	0,915	96	0,81

1) Коэффициенты были вычислены на основании допущения, что величина потоотделения пропорциональна весу тела без одежды в степени $2/3$. Экспериментально определенную величину потоотделения следует умножить на коэффициент, соответствующий весу тела испытуемого (без одежды); полученное произведение представит собой величину потоотделения у «стандартного испытуемого» в тех же самых условиях.

Другие причины колебаний величин потоотделения

Как уже указывалось выше, колебания величины потоотделения в течение одного эксперимента обуславливаются не размерами тела, а другими факторами, которые, однако, нельзя считать физиологическими, так как они проявляются только в экспериментальных условиях и действие их неоднозначно. Поэтому мы считаем вполне законным оспаривать распространенное мнение о том, что некоторые люди отличаются «природной потливостью», в то время как другие вообще «непотливы»¹.

¹ Иногда пот не выделяется из рубцовых тканей и участках кожи, пораженных определенными болезнями (например ихтиозом). Очень редко встречаются люди с врожденным отсутствием потовых желез, у которых совершенно отсутствует выделение пота.

В основе этого представления, столь широко распространенного у людей, живущих в пустыне, лежит, повидимому, тот факт, что во время работы под палящими лучами солнца у одних людей поверхность кожи оказывается гораздо более влажной, чем у других. Мы теперь знаем, что заметная влажность кожи является плохим критерием для определения интенсивности потоотделения, так как большая часть (вероятно, 75%) колебаний величины потоотделения у людей, работающих на солнцепеке, обуславливается различиями в размерах тела. Испарина на лбу человека часто является только показателем местного, а не общего повышения величины потоотделения¹.

Выделение пота под влиянием эмоциональных возбуждений (болевых ощущений) обнаруживает большую индивидуальную изменчивость в отношении легкости, с которой оно может быть вызвано. Однако в условиях пустыни жара является наиболее значительным фактором, вызывающим потоотделение.

Хотя известно, что даже постоянные тепловые раздражения у людей с одинаковыми размерами тела и интенсивностью метаболизма не вызывают вполне идентичной реакции потовых желез, наши исследования показали, что истинная физиологическая изменчивость гораздо менее значительна, чем обычно считают. Физиологические колебания величины потоотделения проявляются в продолжительности латентного периода, предшествующего потоотделению, однако подобные явления у людей, акклиматизировавшихся к жаре, нас не интересуют. Таким образом, мы только в очень ограниченном смысле можем согласиться с представлением о «природной потливости и непотливости».

Влияние температуры воздуха

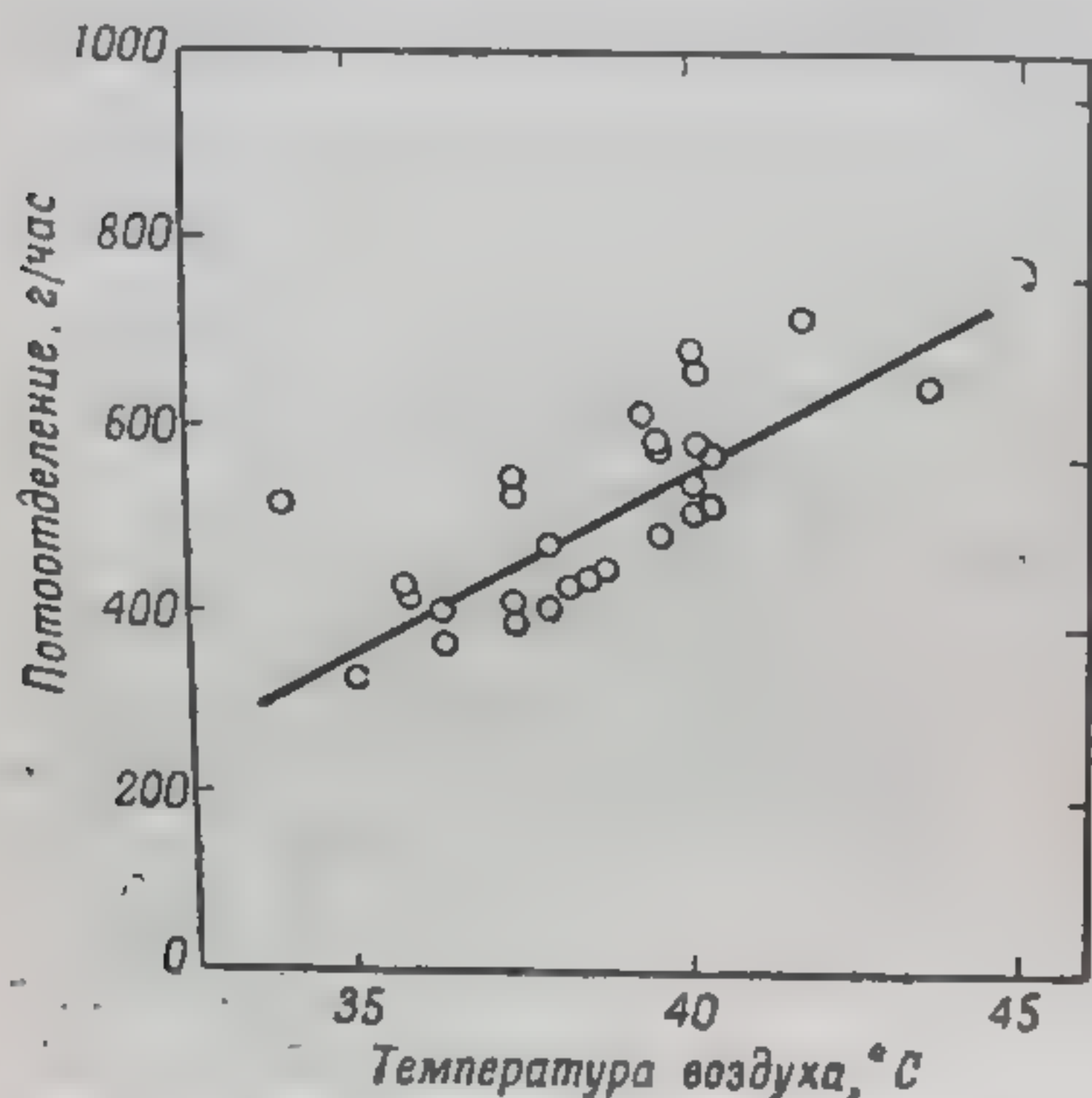
Совершенно очевидно, что повышение температуры воздуха вызывает увеличение потоотделения. Как же количественно выражается эта зависимость в условиях пустыни? На фиг. 25 представлены результаты серии экспериментов, проведенных на испытуемых, сидящих на солнцепеке и одетых в костюмы из бумажной диагонали. В одних случаях ($1/3$ экспериментов) испытуемые сидели прямо на песке, в других — на небольших деревянных ящиках. Температура воздуха измерялась при помощи хорошо защищенного от солнца сухого термометра, обычно находящегося в стандартной метеорологической будке². Каждая точка на фиг. 25 соответствует

¹ Секрет сальных желез иногда задерживает испарение, и поэтому пот может накапливаться под слоем жира.

² Эти условия соблюдались во время всех испытаний, на результатах которых построены кривые фиг. 25 и 26. Мы не пытались измерять температуру в непосредственной близости от испытуемых. Люди, находящиеся в тени (т. е. в палатках), иногда оказывались в условиях более высокой температуры, чем та, которую указывал термометр в метеобудке.

средней величине потоотделения у нескольких человек (обычно у 9), приведенной при помощи коэффициентов, указанных в табл. 3 к величине потоотделения человека весом 70 кг. Линии строились по методу наименьших квадратов; для каждой точки мы пользовались взвешенной средней. Вполне возможно, что эти данные не отличаются однозначностью, но они вполне удовлетворяют нашим требованиям.

На вопрос, оказывает ли температура такое же количественное действие и при других экспериментальных режимах (т. е. когда лю-



Фиг. 25. Влияние температуры воздуха на величину потоотделения у испытуемых, сидящих в пустыне на солнцепеке.

ди выполняют какую-либо работу или защищены от солнечного излучения), можно ответить положительно, по крайней мере в первом приближении. В табл. 5 представлены результаты 1500 испытаний, проведенных в полевых условиях. Все эти наблюдения подтверждают наличие линейной зависимости между величиной потоотделения и температурой воздуха, превышающей 33° даже в случае минимальной активности и максимальной защищенности испытуемых от солнечного излучения.

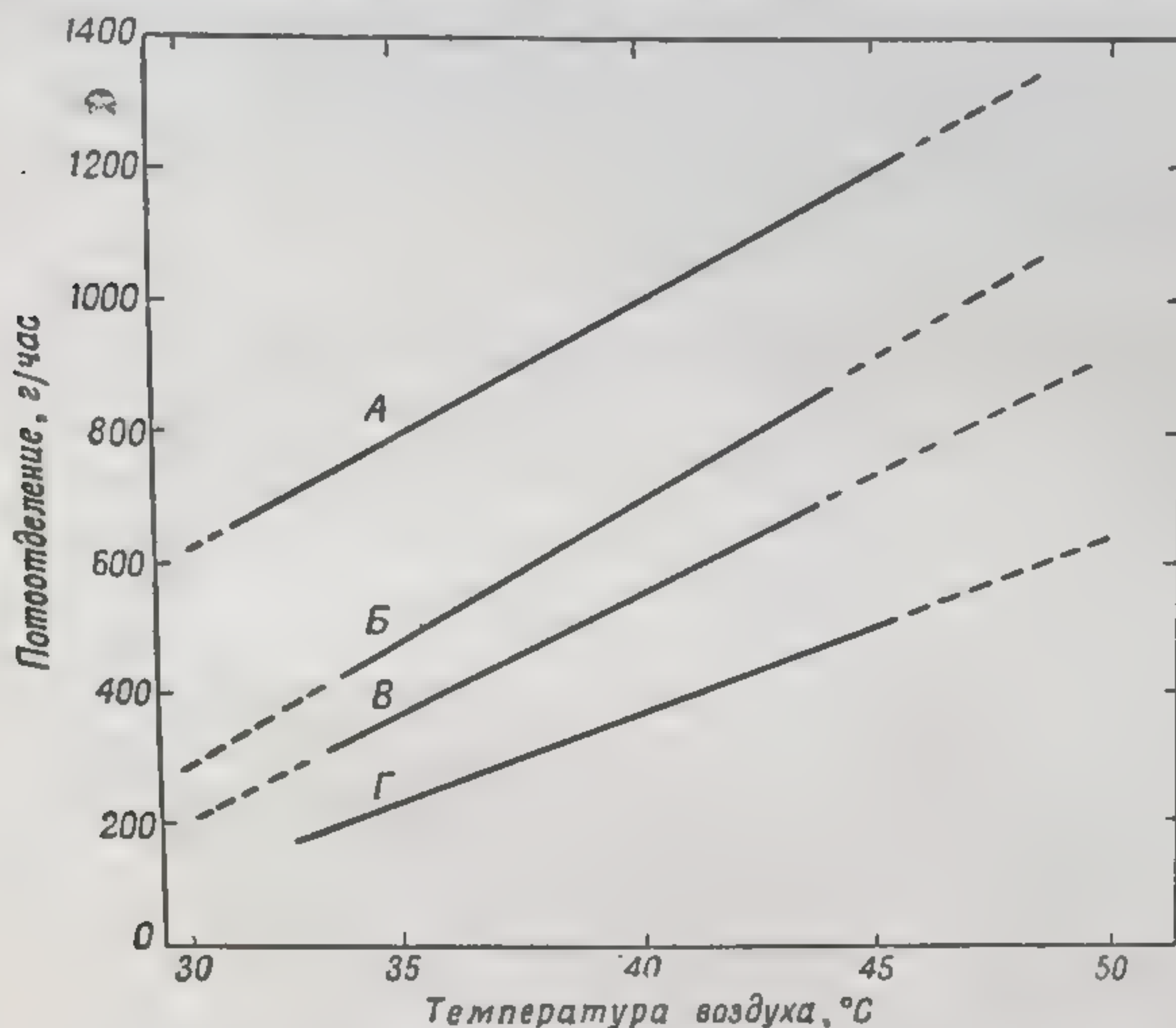
Для удобства при обработке и анализе этих данных мы пользовались упрощенными ме-

тодами. Сам характер изучаемой проблемы не дает возможности произвести исчерпывающую и строгую обработку материала. Так, например, при проведении наблюдений в полевых условиях мы не могли ожидать, что величина потоотделения точно соответствует температуре воздуха, так как при этом невозможно учесть действие других метеорологических факторов. Излучение, скорость ветра и влажность являются факторами, влияющими на величину потоотделения, и только относительное их постоянство в условиях пустыни позволяет с известной точностью оценивать влияние температуры, как это сделано на фиг. 25.

На фиг. 26 представлены итоги анализа полученного нами материала (анализ дан в приложении II), являющиеся попыткой представить в обобщенном виде роль температуры воздуха в определении величины потоотделения в реальных условиях пустыни. Для того чтобы сделать этот график максимально пригодным для использования, мы должны были учесть и другие метеорологические факторы, действовавшие при проведении этих исследований (излучение, скорость ветра и т. д.). Привести полученные данные к «сред-

Рочесте
следова
Но име
характ
очень
Пре
сказал
полирс
в опре

ним климатическим условиям», преобладающим в течение столь длительного периода наблюдений, не имело смысла, так как нас главным образом интересовали пределы наблюдающихся колебаний. Наиболее важные из подобного рода данных сообщаются в подписи под фиг. 26, более подробно они разбираются в соответствующих местах текста. По сравнению с колебаниями погоды в



Фиг. 26. Величина потоотделения в пустыне. График построен на основании соответствующих данных, приведенных в тексте (стр. 75). Пунктирные линии представляют собой попытку экстраполяции за пределы экспериментальных данных. Линии применимы к одетым людям весом 70 кг: А — идущим без груза с ежечасным 10-минутным отдыхом по твердой ровной дороге со скоростью 4,5—5,5 км/час или по песку со скоростью около 4,5 км/час; Б — то же в тени; В — сидящим на деревянных ящиках и на песке; Г — находящимся ночью под открытым небом или днем в тени (хорошо вентилируемые палатка или помещение).

Рочестере, штат Нью-Йорк, климатические условия наших исследований в пустыне были действительно очень однообразны. Но именно потому, что такие однообразные климатические условия характерны для летнего сезона многих пустынь, данные фиг. 26 очень полезны.

Прежде чем анализировать все факторы, действие которых сказалось на построении фиг. 26, необходимо отметить, что экстраполировать вычерченные прямые крайне опасно и возможно только в определенных пределах. Совершенно очевидно, что линию Г

нельзя продолжать прямолинейно для температур ниже 32° , так как все лабораторные наблюдения свидетельствуют о том, что несколько ниже указанной точки наклон этой прямой резко меняется. Другие линии, повидимому, меняют наклон при еще более низких температурах. Кроме того, совокупность ошибок, вызванных неточностью наклона, сделает невозможным применение этого графика при температурах ниже $26-29^{\circ}$ и выше $55-57^{\circ}$. В среднем у человека величина потоотделения очень редко превышает $1\ 500\text{ г/час}$. К этому обстоятельству мы еще вернемся при обсуждении влияния физических упражнений на процесс выделения пота (см. стр. 63).

Влияние влажности воздуха и скорости ветра

Было установлено, что в пустыне относительная влажность воздуха с удивительной правильностью изменяется обратно пропорционально его температуре (см. фиг. 13 и 14). В подобных засушливых местностях в течение летних месяцев влажность воздуха колеблется днем от 5 до 20% и ночью от 20 до 60%. Влажность атмосферы не оказывает никакого влияния на величину потоотделения, за исключением тех случаев, когда свободное испарение пота невозможно. Только при высокой интенсивности метаболизма во время жарких дней в пустыне пот не успевает испаряться полностью; один из примеров таких редких случаев приведен на стр. 104. Однако обычно влажность воздуха играет крайне незначительную роль при физиологическом приспособлении организма человека к жаре пустыни.

Скорость ветра является важным фактором, потому что с ее увеличением во всех тех случаях, когда температура воздуха превышает температуру кожи, возрастает количество тепла, получаемое человеком от внешней среды. У нас нет соответствующих данных для того, чтобы дать этому явлению количественную оценку; однако в нескольких лабораториях для относительно небольших скоростей ветра это было сделано [3,4]. Наклон прямых на фиг. 26, выражающих отношения между температурой воздуха и величиной потоотделения, отчасти отражают среднюю скорость ветра, дующего во время проведения испытаний. Формула конвекции, использованная в Пирсовской лаборатории гигиены [4], выражает пропорциональность между квадратным корнем из скорости ветра и скоростью, с которой возрастает теплообмен человека посредством конвекции при повышении температуры воздуха. Следовательно, при небольшой скорости ветра наклон прямой, выражающей отношение между величиной потоотделения и температурой, должен быть невелик. Незначительный наклон линии Г на фиг. 26 (по сравнению с измерениями, сделанными под открытым небом) является отчасти следствием того, что практически все

приспособления, применяемые для затенения, служат одновременно и укрытиями от ветра. Во время наших полевых исследований скорость ветра (средняя месячная, от 28 июня до 28 июля 1943 г.) составляла 3,5 м/сек утром (8.30—12.30 час.) и 4,4 м/сек днем (12.30—16.30 час.).

Влияние солнечной радиации

В условиях пустыни человеческий организм получает большое количество тепла от солнечных лучей, отраженного солнечного света и, наконец, от вторичного излучения со стороны почвы и строений. Интенсивность этого излучения отличается замечательным постоянством, так как во многих местах пустыни даже самое маленькое облачко редко появляется на небосклоне. Во время проведения измерений, результаты которых представлены на фиг. 26, солнце ни разу не было скрыто облаками и небо все время оставалось совершенно безоблачным. Вопрос об абсолютной интенсивности солнечного сияния стоит вне плана данной работы; необходимо только напомнить, что истинная солнечная постоянная в пустыне такая же или лишь несколько больше, чем в ясные дни в других местностях, расположенных на соответствующих широтах и высотах над уровнем моря. Количество лучистого тепла в условиях пустыни чрезвычайно велико, во-первых, вследствие большого количества ясных дней, во-вторых, из-за высокой отражательной способности песка и, наконец, в-третьих, из-за высокой температуры поверхностей всех окружающих предметов.

Тень в условиях пустыни представляет собой для исследования наиболее трудную проблему. Большинство приспособлений для затенения, безусловно, защищает человека от прямых солнечных лучей, но в различной степени предохраняет его от отраженной солнечной энергии и от вторичного излучения. Материалы, которыми мы располагаем, не настолько обширны, чтобы дать возможность оценить относительные достоинства различных общепотребительных приспособлений для затенения. Изучая в пустыне влияние тени в дневное время, мы обычно проводили эксперименты в открытой палатке (палатка с поднятыми полами) и в хорошо вентилируемых бараках (бараки с открытыми окнами); иногда мы использовали и тень от самих барачных строений. Судя по величине потоотделения (см. приложение II), наши способы затенения меньше защищали от солнечного излучения, чем обычная тепловая камера нашей лаборатории, но они были, несомненно, лучше естественных укрытий, встречающихся в пустыне.

Резкое падение температуры воздуха, характерное в пустыне для ночного времени (см. фиг. 13), объясняется уменьшением излучения тепла от земной поверхности. Следовательно, есть все основания ожидать, что ночью в пустыне потоотделение уменьшается.

Однако ряд измерений (приводятся в приложении II) показал, что величина потоотделения у людей, спящих ночью под открытым небом, лишь незначительно ниже потоотделения у людей, находящихся в дневное время в тени, при условии одинаковой в обоих случаях температуры воздуха. Возможно, что это и не типично, но мы сочли целесообразным до тех пор, пока не будем располагать



Фиг. 27. Потоотделение на солнце и в тени. Каждая пара вертикальных линий представляет собой результаты измерения потоотделения у одного испытуемого в состоянии покоя (6 июля 1943 г., между 9 час. 30 мин. и 11 час. 45 мин.; средняя температура воздуха 36° ; средний вес испытуемых без одежды 71 кг).
○ — в тени; ● — на солнцепеке.

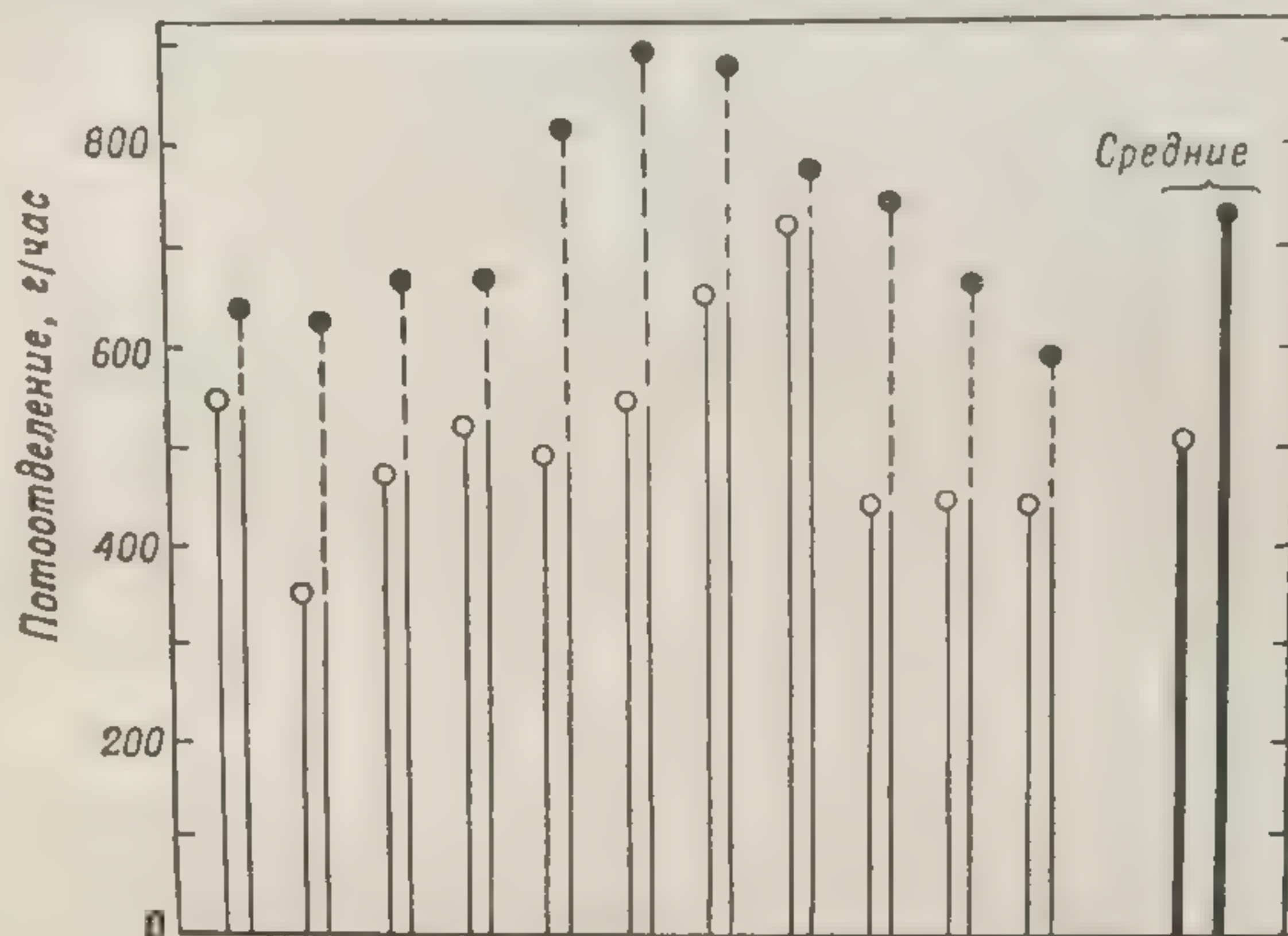
более полными данными, при определении потери воды организмом человека объединить ночное время и время пребывания днем в тени. Прямая Г на фиг. 26 и отражает этот компромисс; возможно, что при этом несколько завышается величина потоотделения ночью и во многих случаях недооценивается значение затенения в дневное время.

Чрезвычайно важно определить влияние прямого солнечного излучения на увеличение потоотделения. Для этого нужно просто провести сравнение между результатами исследований над людьми, находящимися в тени и на солнце. Такие данные можно было бы почерпнуть из фиг. 26; но для их подтверждения было произведено несколько одновременных определений величины потоотделения на солнце и в тени.

Испытуемые, имеющие в среднем одинаковый вес тела и одетые в костюмы из бумажной диагонали, были разделены на две группы; одна группа сидела на ящиках на самом солнцепеке, а другая находилась в тени палатки с поднятыми полами. Во время следующего эксперимента группы менялись

местами, так что каждый испытуемый служил для самого себя контролем.

На фиг. 27 и 28 представлены результаты двух таких экспериментов. При средней температуре воздуха 36° величина потоотделения на солнце и в тени в среднем различалась на 110 г/час (см. фиг. 27), при температуре около 43° — 220 г/час (см. фиг. 28). Температура

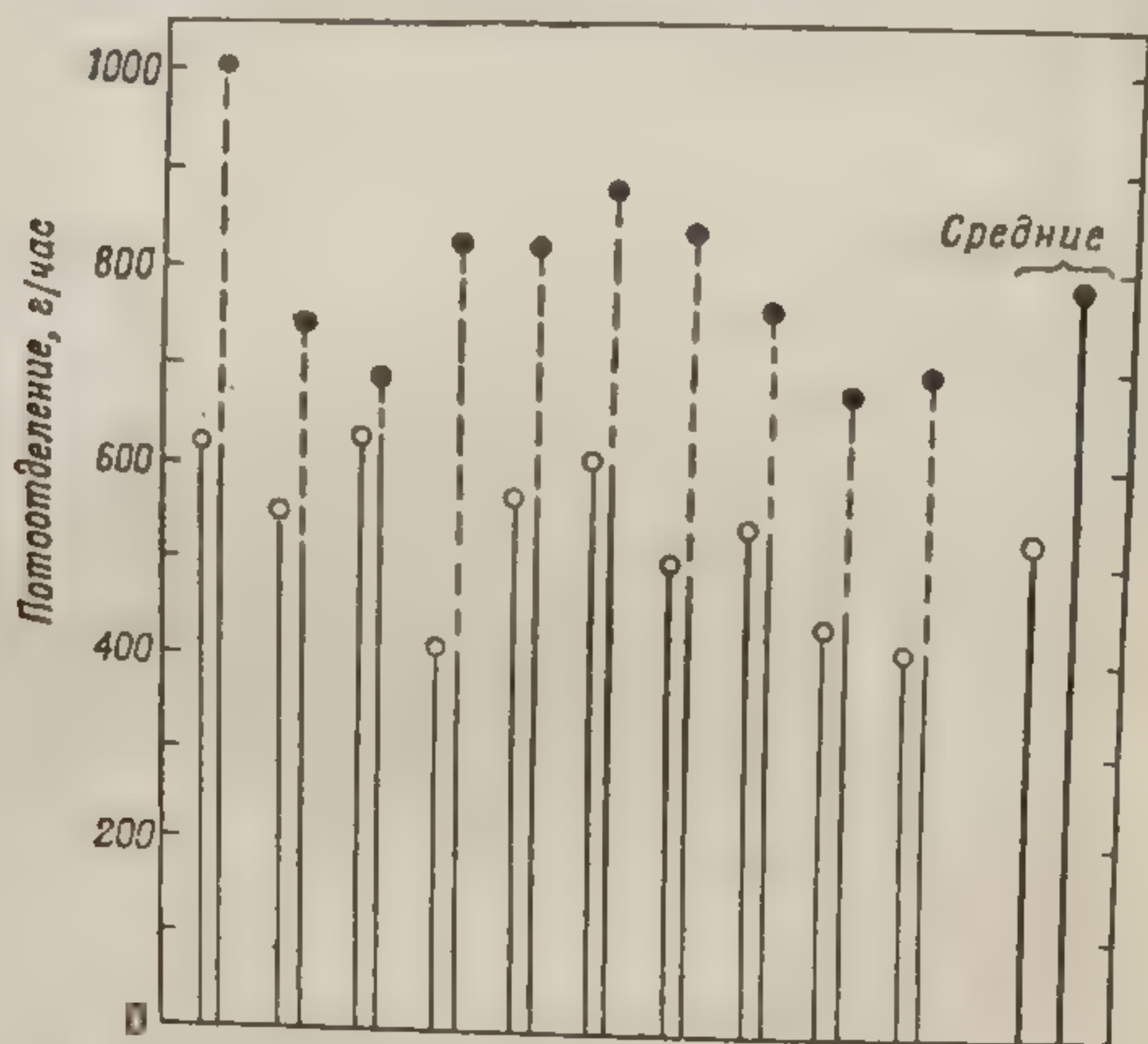


Фиг. 28. Потоотделение на солнце и в тени. Каждая пара вертикальных линий представляет собой результат измерения потоотделения у одного испытуемого в состоянии покоя (27 июня 1943 г., между 13 час. 45 мин. и 16 час. 15 мин.; средняя температура воздуха $42,8^{\circ}$; средний вес испытуемых без одежды 72 кг). ○ — в тени; ● — на солнце.

воздуха измерялась при помощи хорошо затененного сухого термометра, обычно находящегося в метеорологической будке. Эксперименты всегда проводились при безоблачном небе, скорость ветра редко была меньше 2 м/сек . Так как эксперименты проводились при низкой относительной влажности, то этот график не приложим к влажным тропическим и полутропическим областям. Наличие большей разницы в более жаркий день подтверждается также и различием в наклоне линий, изображенных на фиг. 26. В том случае, когда человек сидит не на стуле или ящике, а прямо на горячем песке, различия между величиной потоотделения на солнце и в тени значительно больше вследствие поступления тепла непосредственно из почвы. Так в эксперименте, проведенном 25 сентября 1942 г., испытуемые, сидевшие на песке на солнцепеске, теряли в среднем на 320 г/час больше воды, чем в тени (температура воздуха $36,6^{\circ}$).

Влияние одежды

Одежда защищает человека как от холода, так и от жары. Справедливость последнего положения легко доказать. О том, что одежда хорошо предохраняет человека от поступления лучистого тепла, свидетельствует тот факт, что разница в величине потоотделения на солнце и в тени у обнаженных людей вдвое больше, чем у одетых.



Фиг. 29. Потоотделение у одетых и почти совершенно обнаженных испытуемых. Каждая пара вертикальных линий представляет собой результат измерения потоотделения у одного испытуемого (30 июня 1943 г., между 13 час. 30 мин. и 16 час. 45 мин.); средняя температура воздуха 40° ; средний вес испытуемых без одежды 73,7 кг. \circ — полностью одетый; \bullet — почти совершенно обнаженный.

Эксперименты, результаты которых представлены на фиг. 26, проводились на одетых испытуемых (чаще всего в костюмы из бумажной диагонали оливково-зеленого цвета). Насколько сильно такая одежда изменяет потоотделение, можно судить по данным фиг. 29, на которой непосредственно сравнивается потеря воды у одетых и почти полностью обнаженных людей. Эксперимент состоял из двух следующих друг за другом испытаний; во время первого каждый испытуемый был одет в костюм, состоящий из брюк и рубашки, во время второго на испытуемых были только ботинки, носки и трусы. Все испытуемые сидели на деревянных ящиках.

В среднем наличие костюма сэкономило у каждого испытуемого по 260 г воды ежечасно, причем столь большая экономия наблюда-

лась регулярно. В то же время проведенные нами опыты показали, что различия в роде одежды значения не имеют.

Хотя при отсутствии одежды возрастает поступление тепла из окружающей среды и тем самым увеличивается испарение влаги из организма, человек может чувствовать себя без платья лучше, чем в платье. В жарком и влажном климате тропиков это наблюдается чаще, чем в условиях сухой жары пустыни, причем иногда даже трудно понять, почему человек начинает себя лучше чувствовать, когда снимает рубашку. Однако необходимо подчеркнуть, что самочувствие не соответствует величине потоотделения. В тех случаях, когда возможен недостаток воды, человек, путешествующий по пустыне, не должен снимать верхней одежды. Эта предосторожность становится совершенно обязательной, если к тому же он все время находится на солнцепеке.

Физическая работа

Из фиг. 26 видно, что во время ходьбы величина потоотделения больше, чем в состоянии покоя. В условиях высокой температуры это увеличение потери воды приводит к отдаче всего дополнительного тепла, образовавшегося в организме при выполнении работы, затрачиваемой на передвижение. Так как интенсивность процессов метаболизма значительно меняется в зависимости от тяжести выполняемой работы, то величина потоотделения, в конечном счете, определяется скоростью движения и характером местности. Этими двумя последними факторами объясняется и большая величина потоотделения во время наших опытов 1942 г. по сравнению с испытаниями 1943 г. (см. приложение II). В 1942 г. испытуемые шли по песку со скоростью более 5 км/час; в 1943 г. скорость была меньше и переходы совершались по гладкой асфальтированной дороге.

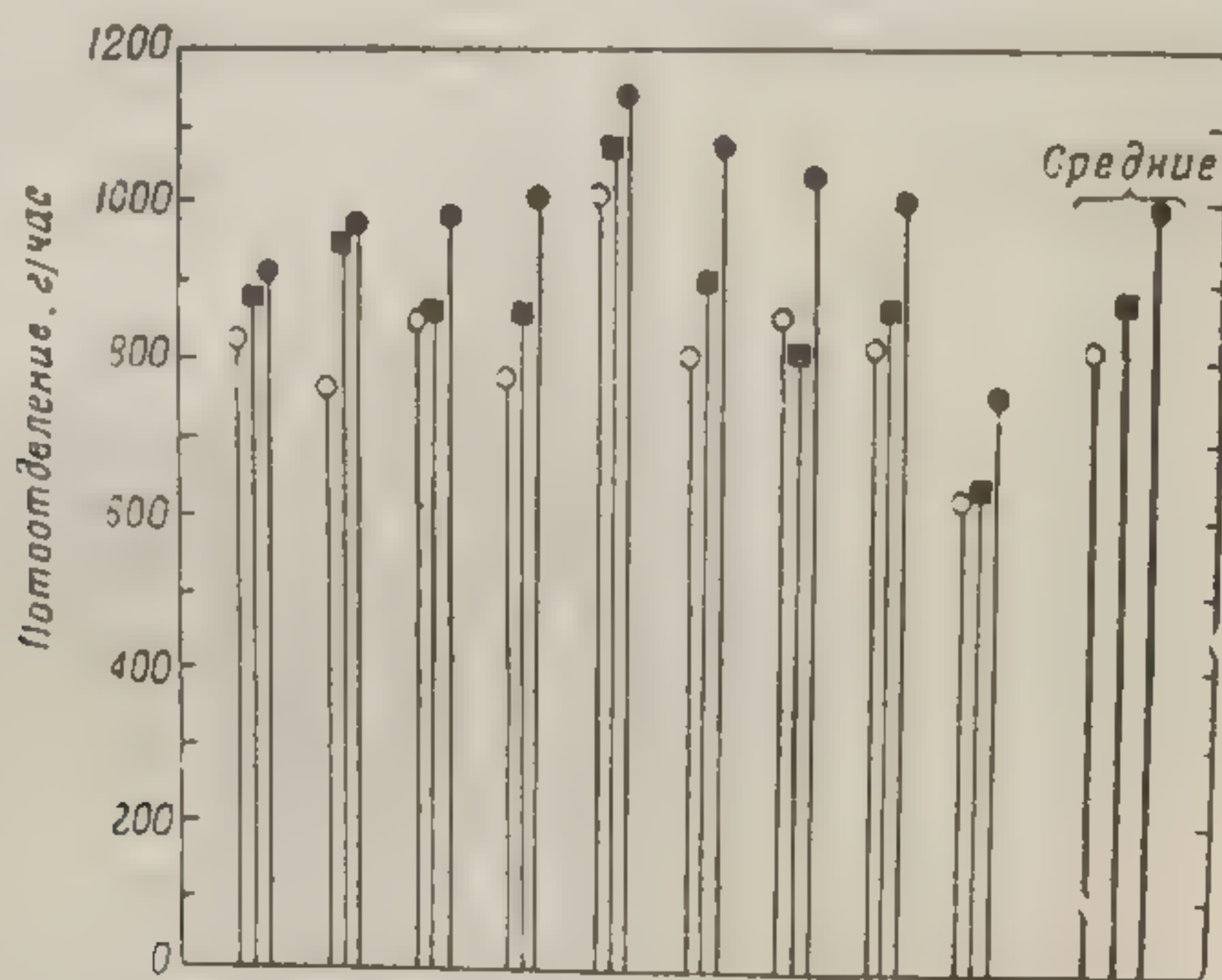
Линии А и Б на фиг. 26 отражают условия промежуточные. Мы считаем, что они точно соответствуют тем случаям, когда испытуемые идут со скоростью 5,5 км/час по гладкой плотной дороге или идут по песку со скоростью приблизительно 4,5 км/час. Так как наши испытуемые в каждом эксперименте затрачивали на ходьбу только 80—90% времени, то на основании полученных результатов делать расчеты за час, строго говоря, можно только в тех случаях, когда ходьба продолжалась не меньше 50 мин. Однако для того, чтобы сделать достаточно обоснованные выводы, не было необходимости настаивать на выполнении этих условий¹. Теоретические расчеты (см. главу V) давали нам возможность определить величину потери воды и при других скоростях ходьбы.

На основании данных фиг. 26 мы сделали вывод, что у человека, находящегося на солнцепеке в сидячем положении, за 1 час

¹ Все скорости, упоминаемые в этом параграфе, являются фактическими скоростями, а не средними за 1 час.

испаряется примерно на 450 г воды меньше, чем при ходьбе, в то время как ночью, даже при такой же температуре воздуха, оставаясь в покое, он сберегает только 300 г/час. Следовательно, практика отдыха днем и переходов в ночное время более рациональна с точки зрения экономии воды, содержащейся в организме.

Как и следовало ожидать, ношение груза изменяет величину потоотделения. На фиг. 30 представлены результаты эксперимента, проведенного 20 июля 1943 г., во время которого испытуемые шли по солнцепеку со скоростью 4—5 км/час по асфальтированной



Фиг. 30. Зависимость величины потоотделения от тяжести груза. Полученные величины потоотделения перечислены на величину потоотделения при температуре воздуха 37,7°. Каждые три вертикальные линии изображают потоотделение у одного испытуемого. ○ — груз 2,7 кг; □ — груз 13 кг; ● — груз 23 кг.

дороге, неся на спине бидоны емкостью около 23 л, в разной степени наполненные водой. Испытуемые (вес тела в среднем около 69 кг) были разделены на три группы; члены каждой из них несли одинаковый груз. По истечении определенного отрезка времени испытуемые менялись ношами, так что к концу эксперимента все по одному разу носили каждый груз. При нагрузке в 2,7, 13 и 23 кг в среднем соответственно выделялось пота — 812, 875 и 988 г/час. Эти данные показывают, что при ноше весом меньше 10 кг потоотделение возрастает приблизительно на 5 г/час на каждый килограмм груза, а при ноше весом 10—20 кг — примерно на 7 г/час (стр. 165—166).

Эти факты можно использовать для видоизменения данных фиг. 26, ибо последние применимы только в отношении пешеходов, не несущих никакого снаряжения.

Максимальные величины потоотделения

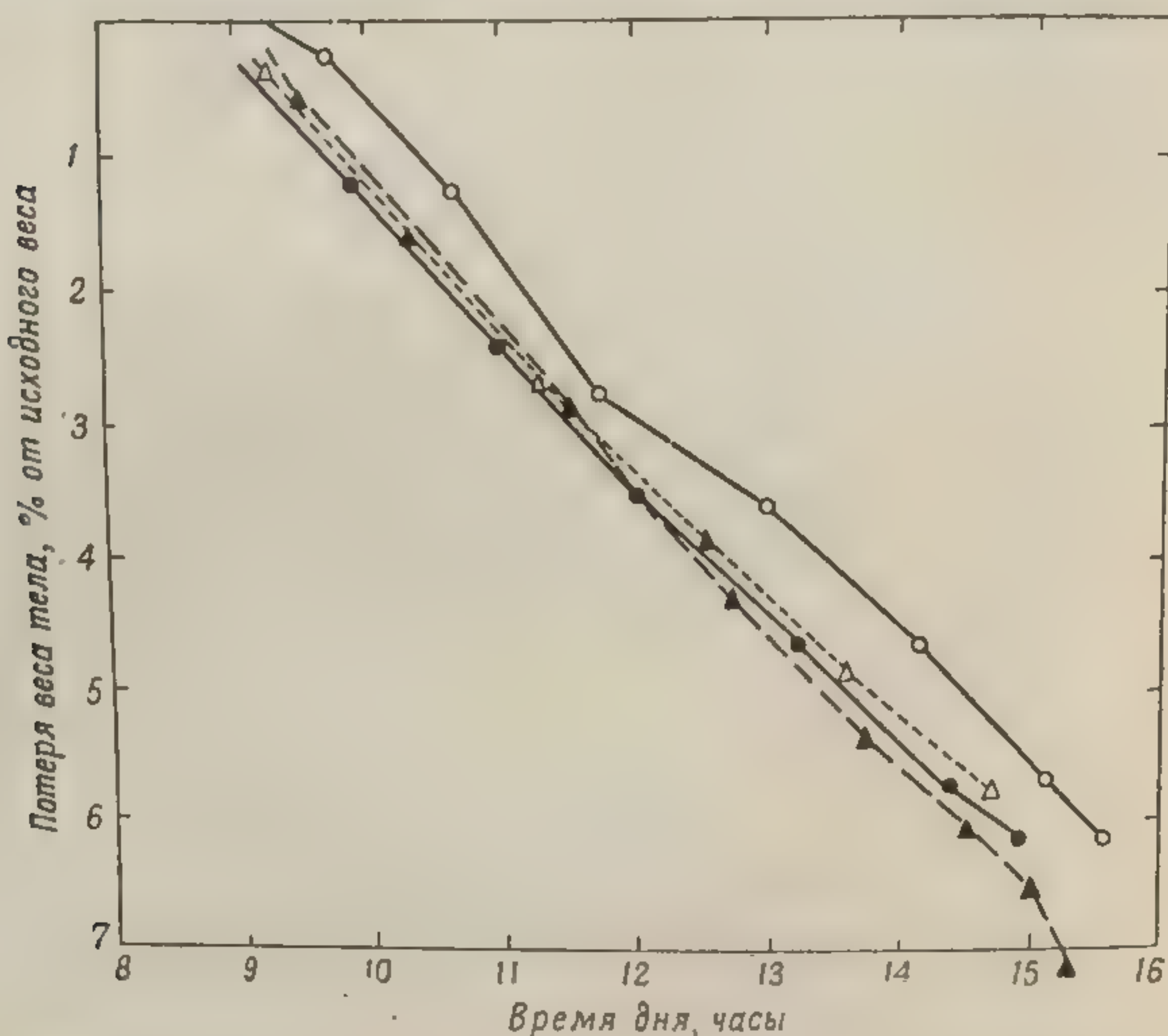
После того как мы установили, что физическая работа является важным регулятором процесса потоотделения, перед нами возникла другая проблема. Существует ли в действительности какой-нибудь предел для потоотделения, который может быть достигнут в результате физического напряжения? В литературе отсутствуют данные, свидетельствующие о том, что величина испарения (измеряемая в течение 1 часа) может превышать 1,7 л/час [5]. В то же время точными измерениями установлено, что в воздухе, насыщенном влагой, при температуре 35° величина потоотделения равняется 3,5 л/час (измерение проводилось в течение нескольких часов). В этих искусственно созданных условиях высокой температуры воздуха и высокой влажности пот пропитывает всю одежду и буквально льется на землю.

Легко понять причину такого различия между влажным и сухим теплом. Может показаться удивительным, что столь интенсивная секреция потовых желез не проявляется у человека, работающего в условиях пустыни. Однако пока возможно испарение, температура тела не повышается до такой степени, чтобы вызвать максимальную ответную реакцию со стороны потовых желез, даже в том случае, если температура внутренних органов настолько возросла, что препятствует расходованию энергии. Поскольку перенос тепла от глубоко лежащих тканей к поверхности тела является функцией периферического кровообращения, циркуляторная недостаточность представляет собой важный фактор, ограничивающий работоспособность человека в условиях пустыни. Всякий раз, когда в атмосфере пустыни не затруднен сам процесс испарения (т. е. когда кожа не покрыта хорошо видимым потом), пределы возможных физических усилий человека в конце концов определяются нарушениями кровообращения (см. главу XI).

Влияние обезвоживания организма

Четверо испытуемых одновременно подвергались действию постоянной температуры (50°) в тепловой камере. Так как во время эксперимента они не получали воды, их организм постепенно обезвоживался. В интервалах между взвешиваниями физическая активность всех испытуемых была совершенно одинаковой. Наблюдавшаяся при этом потеря веса представлена на фиг. 31. Потеря веса тела (выраженная в процентах от исходного веса) служит удобной мерой такой быстрой дегидратации. К концу опыта у всех испытуемых потеря веса составляла 6%. Наклон линий на фиг. 31 характеризует величину потоотделения. Одинаковые наклоны линий свидетельствуют о том, что обезвоживание организма не обуславливалась хоть сколько-нибудь заметными изменениями потоотделения.

К такому же выводу приводят и данные другого лабораторного эксперимента, в котором наблюдалась потеря веса, равная 11%. В этом случае испытуемый подвергался дегидратации в течение двух дней подряд. Во время опыта он принимал пищу (избегалась пища, богатая водой), но совершенно не получал воды. Температура воздуха в течение обоих дней была около 48° , ночью — несколько ниже. Повторно в течение 30 мин. испытуемый производил работу на эргометрическом велосипеде; в последний раз закончить ее

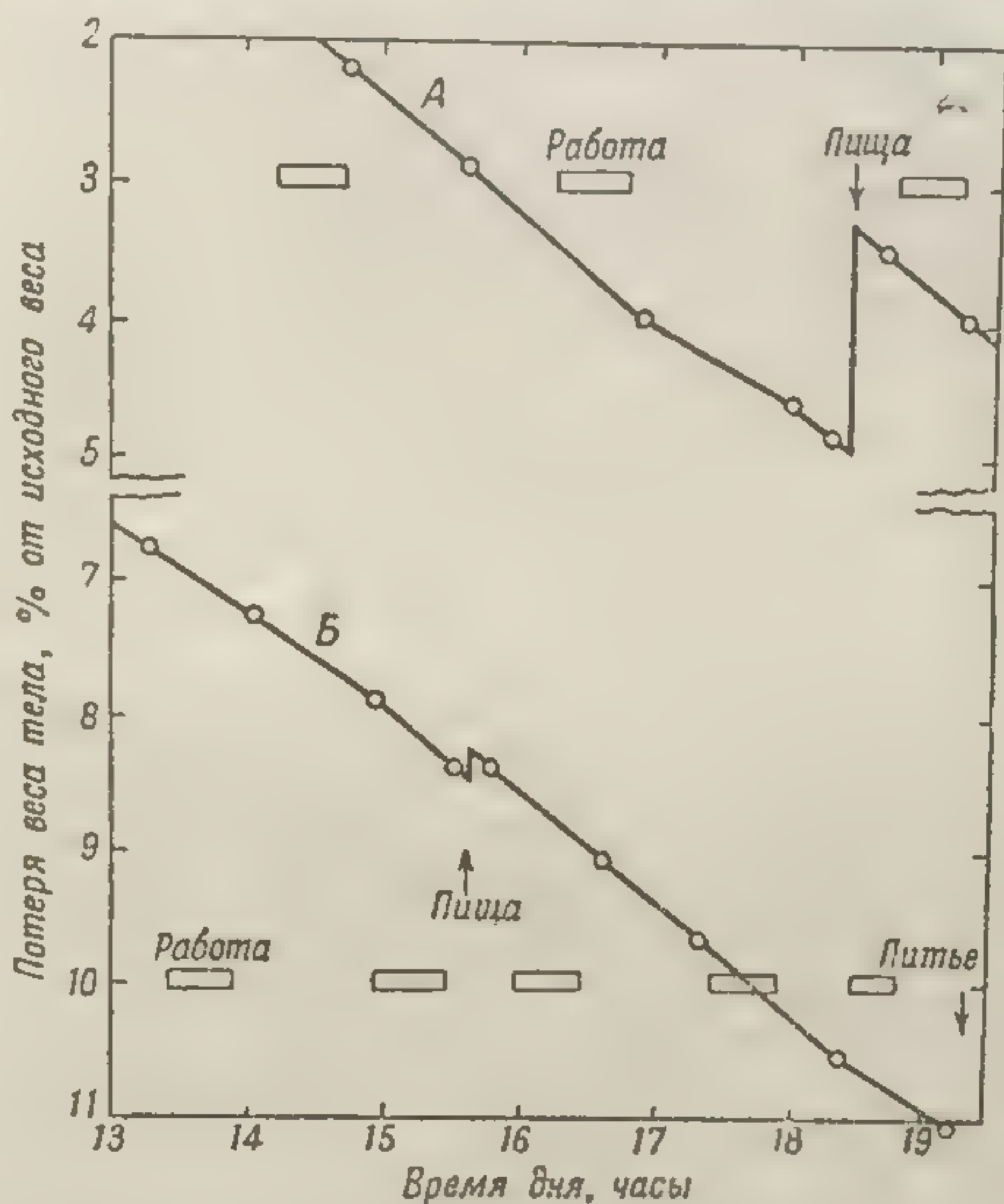


Фиг. 31. Потеря веса у четырех испытуемых, подвергавшихся дегидратации в помещении при температуре воздуха 50° .

испытуемый оказался не в состоянии, вследствие дегидратационного истощения. Потоотделение было примерно одинаковым как при потере веса тела в 9—11%, так и при потере в 3—5% (фиг. 32).

Как правило, при нарастании дегидратации не обнаруживается стойкого уменьшения количества выделяемого пота до тех пор, пока другие влияющие на этот процесс факторы остаются неизменными. Однако иногда человек в состоянии дегидратации выделяет несколько меньшее количество пота, чем при нормальном водном балансе. Это явление наблюдалось как в лабораторных [6], так и в полевых условиях. Поскольку в пустыне неизбежен суточный цикл изменения температуры воздуха (см. фиг. 13), интересующую нас проблему можно изучать только путем сравнения

людей, находящихся в состоянии дегидратации, с людьми, которые получали необходимое им количество воды. Результаты одного из таких сравнений подробно изложены в приложении III. В этом эксперименте испытуемые примерно с одинаковым весом тела были разделены на две группы. Обе группы испытуемых за 8 час. прошли по песку 33,5 км. Одна группа во время перехода совершенно не получала воды, а другая получала ее в неограниченном количестве



Фиг. 32. Потеря веса при максимальной, экспериментально вызванной дегидратации, показывающая, что интенсивное потоотделение сохраняется в течение длительного времени. А — 1-й день; Б — 2-й день.

Испытуемые, принадлежащие к 1-й группе, в конце эксперимента обнаружили потерю веса, равную в среднем 7,4%. За все время у них испарилось воды на 11% меньше, чем у их товарищей, пивших воду. Эту разницу нельзя объяснить только экспериментальной ошибкой, и мы считаем ее вполне реальной. Однако величина ее может варьировать и не всегда возрастает по мере усиления обезвоживания организма.

Хотя подобное уменьшение потоотделения при увеличении обезвоживания может показаться вполне понятным, все же нельзя считать, что низкое содержание воды в организме само по себе

тормозит выделение пота, так как известно, что человек в состоянии дегидратации может в любой момент ускорить процесс потоотделения путем увеличения физической активности тела. Эта проблема также должна быть проанализирована с точки зрения теплообмена. Человек, организм которого обезвоживается под влиянием жары, не в состоянии сохранять свой тепловой баланс (см. главу XI), о чем свидетельствует повышение ректальной температуры. Однако этими сдвигами в тепловом балансе можно только частично объяснить указанное выше различие в потоотделении. Мы измеряли теплопродукцию организма человека и не обнаружили снижения ее интенсивности при дегидратации. Методом исключения мы вынуждены были прийти к заключению, что при обезвоживании организм человека иногда поглощает из окружающей среды меньше тепла и тем самым может сберечь некоторое количество содержащейся в нем воды. Правильность этой гипотезы подтверждает наблюдающееся при дегидратации повышение температуры кожи.

Однако нельзя рекомендовать дегидратацию в качестве способа сохранения воды в организме. Таким путем сберегается лишь небольшое количество жидкости, и совершенно очевидно, что это достигается только ценой повышения ректальной температуры и температуры кожи. Нежелательность даже незначительной дегидратации будет рассмотрена подробнее в главе XII.

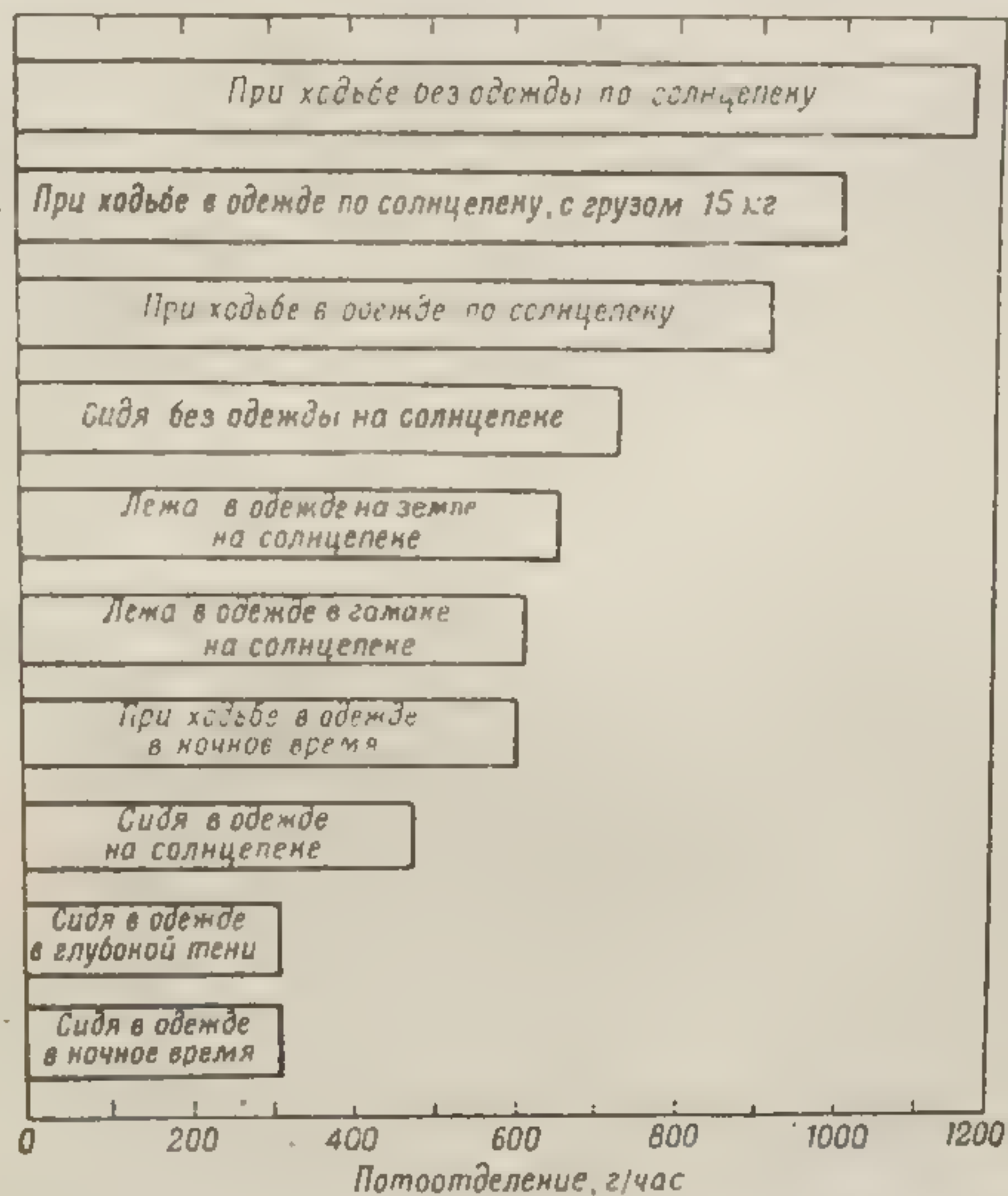
Хотя связь между количеством выпитой жидкости и потоотделением еще не достаточно изучена, мы считаем нужным сказать о ней несколько слов. У испытуемого, находящегося в условиях сухой жаркой атмосферы, пот обнаруживается на коже или одежде сразу же после приема 200 см^3 (или большего количества) воды. Этот факт дает основание предположить, что прием воды вызывает усиленное потоотделение. В действительности же такое внезапное увеличение потоотделения в течение одной или двух минут усиливает испарение воды, которое настолько охлаждает кожу, что секреция пота в дальнейшем уменьшается и обычно, в конечном счете, средняя величина потоотделения остается неизменной. Следовательно, этим обстоятельством нельзя объяснить даже незначительное различие в потоотделении у людей, снабжавшихся водой и лишенных ее.

Интересен механизм этого явления. Оно было обнаружено не у всех испытуемых, вероятно даже не у большинства из них. При проведении нескольких экспериментов в тепловой камере величина потоотделения измерялась ежеминутно при помощи весов Саутера, на которых во время опыта лежал испытуемый. Заметное усиление потоотделения и испарения наступало сразу же после приема воды. Это увеличение сохранялось в течение 5—10 мин., вслед за чем наступала компенсаторная депрессия. Однако за время латентного периода этой реакции из кишечника могло всосаться лишь очень незначительное количество воды. По всей вероятности, выделение пота вызывается рефлекторным путем при быстром наполне-

нии кишечного тракта водой. Механизм этого явления нуждается в дальнейшем изучении. Для наших исследований он, однако, не имеет существенного значения.

Выводы

Анализируя вопрос о том, что определяет в условиях пустыни величину потоотделения, мы исследовали действие следующих факторов: температуры воздуха, солнечного излучения, скорости



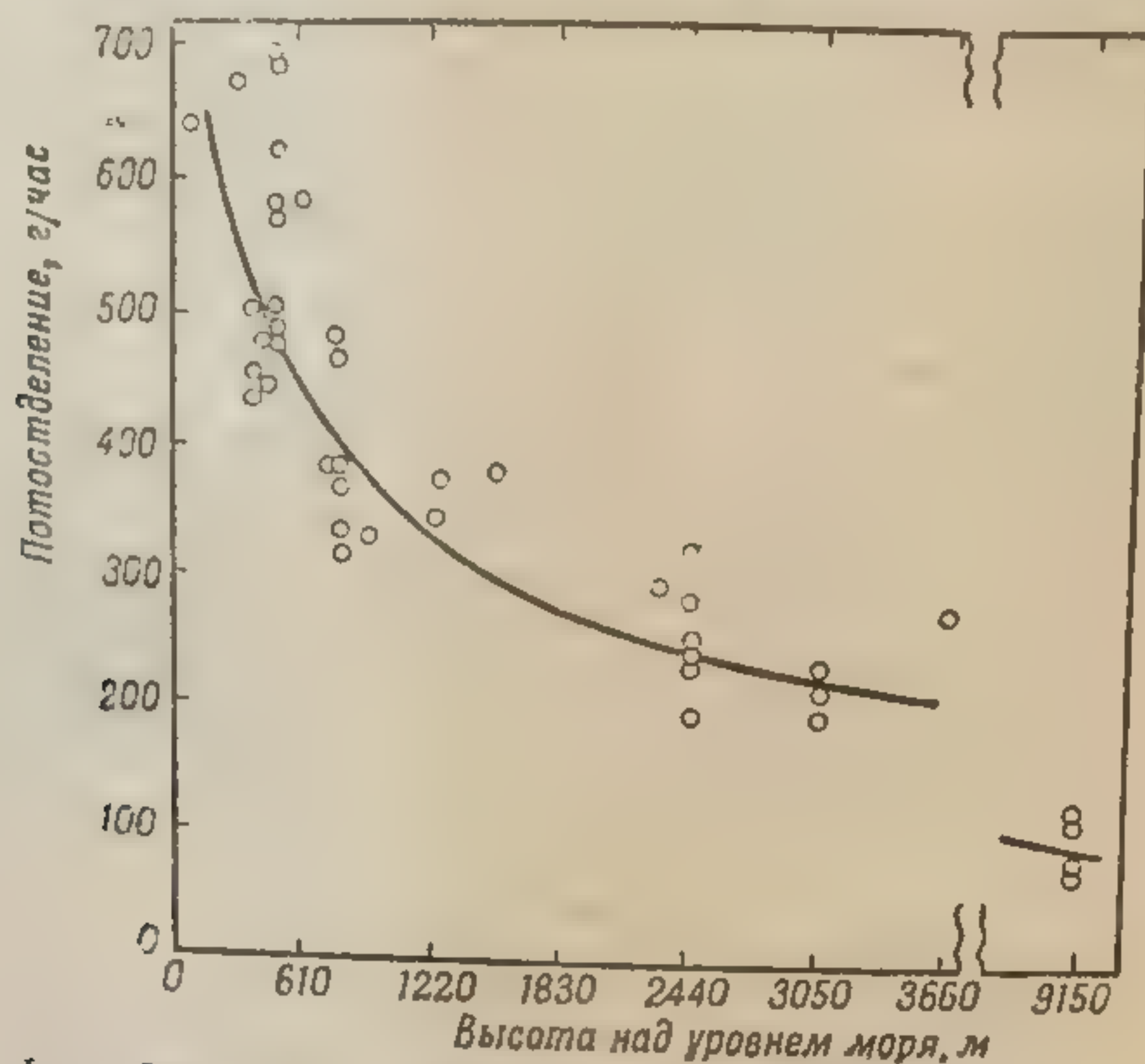
Фиг. 33. Потоотделение в различных условиях пустыни при температуре воздуха $37,7^{\circ}$ (по показаниям сухого термометра).

ветра, относительной влажности, одежды, размеров тела, физической деятельности, эмоционального возбуждения и дегидратации.

Все факторы, регулирующие процесс потоотделения, получили количественную оценку. Так, например, было установлено, что с повышением температуры воздуха на каждые $0,5^{\circ}$ величина потоотделения возрастает примерно на 20 г/час . Действие прямых солнечных лучей вызывает увеличение выделения пота, примерно эквивалентное действию, оказываемому повышением температуры воздуха на $5,5^{\circ}$. Одежда имеет большое значение: находящийся на солнце обнаженный человек, надев рубашку и брюки, сэкономит

такое же количество воды, какое сберегает одетый человек, перешедший с солнцепека в тень.

При ходьбе потоотделение определяется скоростью движения, характером местности и тяжестью носимого груза. Человек, идущий по солнцепеку, может нести груз в 25 кг (или меньше), и при этом потоотделение у него не будет увеличиваться больше, чем на 10 г/час на каждый килограмм переносимой им ноши. Более грузные люди потеют больше, чем люди, имеющие меньший вес, и,



Фиг. 34. Потоотделение во время 18 полетов над пустыней на различных высотах. Каждый кружок соответствует величине потоотделения у одного испытуемого во время одного полета. Все величины потоотделения при помощи коэффициентов, указанных в табл. 3 (стр. 54), перечислены на величину потоотделения у человека весом 70 кг.

следовательно, для восполнения водного дефицита нуждаются в потреблении большего количества воды. Так как величина потоотделения примерно пропорциональна весу тела в степени $\frac{2}{3}$ ($B^{\frac{2}{3}}$), то человек, весящий 90 кг, выделяет пота примерно на 30% больше, чем человек, весящий 60 кг.

Совершенно очевидно, что каждая новая комбинация этих факторов вызывает определенное изменение потоотделения. На фиг. 33 представлены результаты десяти измерений потоотделения у испытуемых, находящихся в различных условиях при температуре воздуха около 38°.

Величины потоотделения при других температурах воздуха приведены на фиг. 26. При помощи этого графика можно определить потерю воды организмом человека в пустыне в четырех различных усло-

виях. Несмотря на то что, повидимому, есть серьезные возражения против такого обобщения, наши многочисленные исследования потоотделения в пустыне показали, что на основании данных фиг. 26 можно предсказать величину потоотделения (см. главу IX).

Между величиной потоотделения и любым другим фактором, меняющимся, в свою очередь, в зависимости от температуры воздуха, должна существовать определенная связь.

Высота полета самолета, несомненно, является именно таким фактором. На фиг. 34 представлены полученные нами экспериментальные данные о корреляции между потоотделением и высотой над уровнем моря (см. приложение IV).

Полученные нами материалы относительно величины потоотделения имеют большое значение, так как они дают возможность определить степень обезвоживания организма, неизбежно наступающего у людей, оказывающихся в пустыне без воды или с недостаточным запасом ее. На основании наших данных, можно заранее определить их шансы на выживание (см. главу XVII). И, наконец, сообщенные нами сведения должны заменить старые ошибочные представления, которые лишь дезориентировали путешественников по пустыне.

П Р И Л О Ж Е Н И Е I

Зависимость между величиной потоотделения и весом тела

В табл. 4 суммированы данные 35 проведенных нами испытаний. Из большого количества материала, которым мы располагаем, они были выбраны исключительно потому, что отвечали трем требованиям: во-первых, в каждом испытании исследовалось не менее 7 человек; во-вторых, все испытуемые выполняли одинаковую работу, в течение одинакового времени находились на солнцепеке и носили одинаковую одежду и, наконец, в-третьих, различие в весе тела у разных групп испытуемых было довольно значительным (не меньше 20 кг). В пределах каждого опыта условия регулировались в целях достижения единообразия, но различные эксперименты отличались друг от друга по наличию факторов, влияющих на величину испарения пота (т. е. физической деятельности, температуры воздуха, защиты от солнечного света и т. д.). Например, 8 испытаний из этой серии были проведены в Мексиканском заливе на солдатах, сидевших в спасательных резиновых лодках. Результаты каждого испытания явно показывают наличие зависимости между весом тела и величиной потоотделения.

Для того чтобы облегчить анализ полученного материала, мы пользовались в каждом эксперименте двумя следующими характеристиками: 1) коэффициентом регрессии, выражающим зависимость между величиной потоотделения и весом тела, 2) величиной

Таблица 4

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ПОТООТДЕЛЕНИЕМ И ВЕСОМ ТЕЛА
(данные 35 испытаний)

Условия опыта	Дата	Число испытуемых	Вес тела, кг	Потоотделение ¹⁾ (P_{70}), г/час	Коэффициент корреляции (r)	Коэффициент детерминации (r^2)	Коэффициент регрессии ²⁾ (a), г/час/кг
Испытуемые ходят	17.IX 1942 г.	7	60—78	1 020	0,94	0,88	16,9
	22.IX	10	57—93	1 000	0,33	0,15	4,7
	17.IX	7	57—79	940	0,84	0,71	10,7
	12.VII 1943 г.	12	61—91	930	0,81	0,66	9,0
	1.VII	11	62—91	900	0,71	0,50	6,9
	22.IX 1942 г.	10	55—82	890	0,87	0,76	9,6
	23.IX	9	63—90	880	0,65	0,42	6,8
	13.VII 1943 г.	12	58—93	880	0,78	0,61	10,4
	23.IX 1942 г.	11	55—84	860	0,91	0,83	11,3
	29.VI 1943 г.	16	58—91	860	0,59	0,35	9,5
	26.VII 1943 г.	15	58—91	850	0,71	0,50	15,2
	14.VII	144	61—93	830	0,71	0,50	12,2
	24.VII	13	58—91	820	0,76	0,58	9,5
	26.VII	15	58—91	730	0,40	0,16	4,9
	7.VII 1943 г.	44	60—91	720	0,64	0,41	6,7
	30.IX 1942 г.	13	57—93	660	0,91	0,83	7,9
	28.IX	13	62—84	660	0,83	0,69	10,1
Испытуемые сидят	30.VI 1943 г.	11	63—91	550	0,44	0,19	11,3
	23.IX 1942 г.	10	63—90	520	0,33	0,14	2,9
	24.IX	11	57—92	510	0,89	0,80	10,3
	24.IX	11	55—93	510	0,50	0,25	2,2
	22.IX	10	56—83	460	0,13	0,02	1,2
	23.IX	11	55—84	430	0,65	0,42	5,0
	22.IX	10	57—94	430	0,83	0,69	4,3
	6.VII 1943 г.	8	60—90	410	0,73	0,53	4,8
	27.VII	18	57—81	340	0,61	0,37	8,8
	23.VI 1943 г.	22	58—82	320	0,44	0,19	3,6
	27.VIII 1943 г. ³⁾	9	54—87	220	0,63	0,40	2,0
	28.VIII ³⁾	7	54—98	200	0,88	0,77	2,3
	28.VIII ³⁾	9	54—97	180	0,46	0,21	0,9
	28.VIII ³⁾	8	54—97	170	0,83	0,69	2,5
	2.IX ³⁾	9	53—96	130	0,56	0,31	1,5
	27.VIII ³⁾	9	54—87	110	0,64	0,41	2,1
	2.IX ³⁾	9	53—97	60	0,62	0,38	1,3
	1.IX ³⁾	9	53—96	60	-0,05	0,00	-0,2

1) Вычислена для человека весом 70 кг.

2) Наклон прямой, выражающей отношение величины потоотделения к весу тела (без одежды).

3) Испытуемые сидят в спасательных резиновых лодках.

потоотделения. На графике ординате линии регрессии избран в качестве веса, что он близок к весу солдат.

На фиг. 35 на графике отмечена P_{70} , а на графике величина коэффициента корреляции по данным табл. 4. Линия на графике построена по методу наименьших квадратов, при этом точке приписан средний вес в зависимости от веса испытуемых.

Поскольку при разделенных экспериментальных условиях полученные результаты не откладываются или ниже этой сплошной линии, мы считаем, что имеющиеся различия учитывать разницы в условиях. Значение пояснено ниже.

На основании данных с теми, которые даны на фиг. 22, величина потоотделения в течение опыта следующая, связанная с весом тела.

$(y - y_0) = m(x - x_0)$
где y — величина потоотделения.
При дифференцировании получим:

Если вес тела (х) начнется y_0 . В этом случае $b =$

потоотделения человека весом 70 кг (Π_{70}), взятой соответственно ординате линии регрессии в точке, отвечающей 70 кг. Этот вес был избран в качестве стандарта потому, что он близок к среднему весу солдат.

На фиг. 35 на оси абсцисс отмечена Π_{70} , а на оси ординат — величина коэффициента регрессии по данным табл. 4. Сплошная линия на этом графике построена по методу наименьших квадратов, причем каждой точке приписан соответствующий вес в зависимости от числа испытуемых.

Поскольку при наличии определенных экспериментальных условий полученные результаты не откладываются точно выше или ниже этой сплошной линии, мы считаем, что имеем право не учитывать различия этих условий. Значение цифр будет пояснено ниже.

На основании данных, сходных с теми, которые приводились на фиг. 22, величина потоотделения в течение одного опыта следующим образом связана с весом тела испытуемого.

$$(y - y_0) = m(x - x_0)^n,$$

где y — величина потоотделения; x — вес тела.

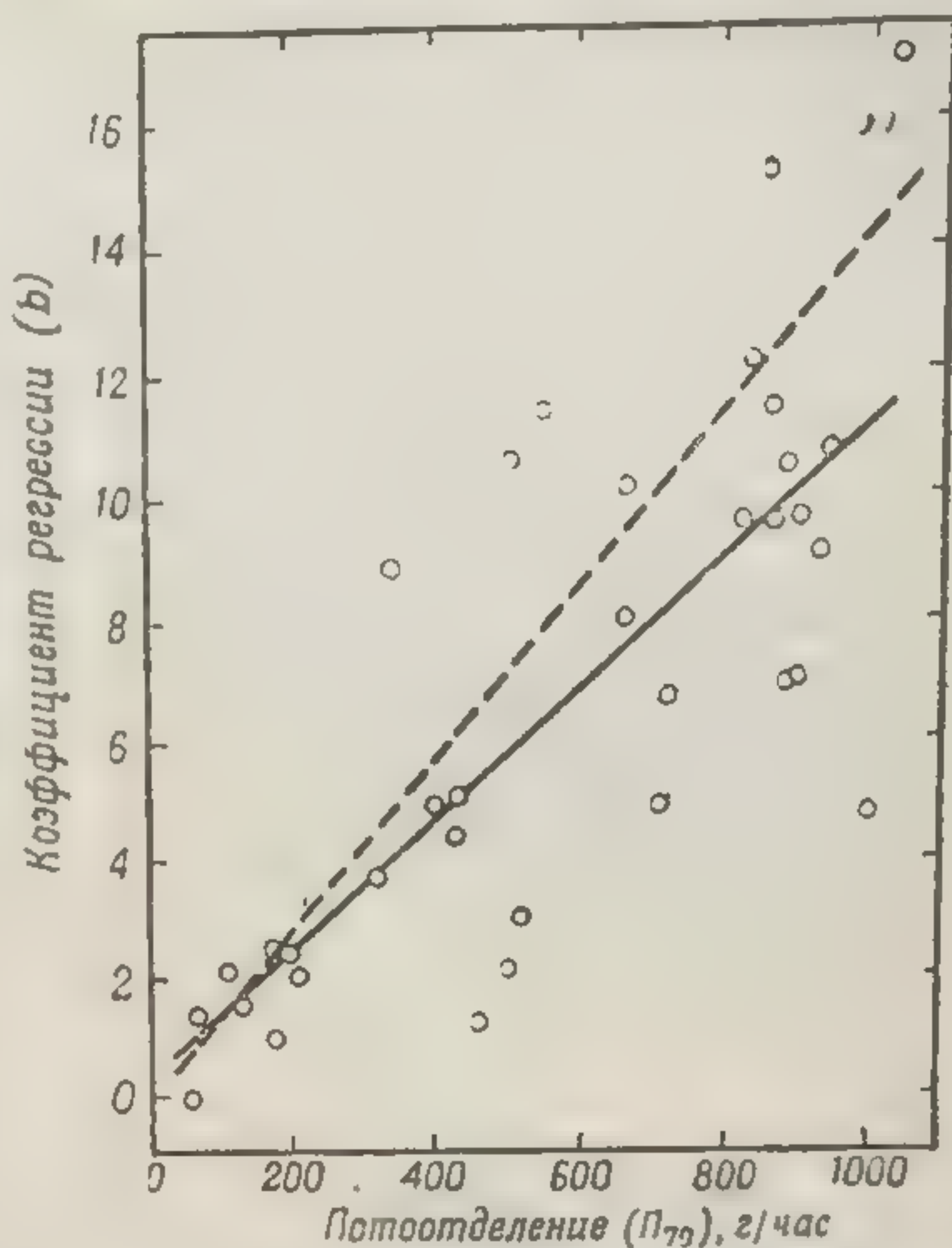
При дифференцировании

$$\frac{d(y - y_0)}{d(x - x_0)} = b = nm(x - x_0)^{n-1},$$

$$b = \frac{n(y - y_0)}{(x - x_0)^n} (x - x_0)^{n-1} = \frac{n(y - y_0)}{(x - x_0)}.$$

Если вес тела (x) равен 70 кг, величина потоотделения (y) обозначается y_{70} . В этом случае

$$b = b_{70} = n \frac{(y_{70} - y_0)}{(70 - x_0)} = \frac{ny_{70}}{(70 - x_0)} - \frac{ny_0}{(70 - x_0)}.$$



Фиг. 35. Зависимость наклона (коэффициенты регрессии) линий регрессии, сходных с линиями, изображенными на фиг. 22, от потоотделения. Каждый кружок соответствует одному эксперименту, на основании которого была вычислена корреляция между величиной потоотделения и весом испытуемого (без одежды). Данные всех этих экспериментов суммированы в табл. 4. Пунктирная линия соответствует случаям, в которых потоотделение пропорционально весу тела.

Коэффициент
регрессии (a),
г/час/кг

16,9
4,7
10,7
9,0
6,9
9,6
6,8
10,4
11,3
9,5
15,2
12,2
9,5
4,9
6,7
7,9
10,1

11,3
2,9
10,3
2,2
1,2
5,0
4,3
4,8
8,8
3,6
2,0
2,3
0,9
2,5
1,5
2,1
1,3
1,3
0,7

к весу тела

Если в серии экспериментов установлена линейная зависимость между b_{70} и y_{70} , то следовательно n , x_0 и y_0 во всех этих экспериментах, несмотря на различные экспериментальных условий, должны иметь одинаковую величину. В таком случае все линии регрессии должны принадлежать к одному и тому же семейству кривых. Тогда наша первоначальная формула становится параметрическим уравнением, где величина m зависит от тех факторов, вызывающих потоотделение, действию которых во время каждого эксперимента в равной степени подвергаются все испытуемые (физическая деятельность и поступление экзогенного тепла).

На фиг. 35 значения b_{70} сопоставлены с соответствующими значениями y_{70} на материале 35 испытаний, приводимом в табл. 4. Положение точек, несмотря на их разбросанность, обнаруживает явную тенденцию, которая, по нашему мнению, может быть совершенно законно представлена прямой линией. Наклон сплошной линии на этом графике составляет 0,0109, а начало 0,28 (b_{70} , когда $y_{70} = 0$). Согласно последнему уравнению

$$\frac{-ny_0}{(70-x_0)} = 0,28 \text{ и } \frac{n}{(70-x_0)} = 0,0109.$$

Линейная зависимость, представленная на фиг. 35, одинаково справедлива для значений n , x_0 и y_0 при всех испробованных нами экспериментальных условиях.

Однако этот график не дает единственного решения; очевидно, здесь могут представиться две правдоподобные возможности. Для выбора требуется сделать специальные допущения: во-первых, мы можем предположить, что потоотделение (y) и вес тела (x) связаны линейной зависимостью при любом весе тела. Мы уже показали наличие подобной зависимости для веса тела от 50 до 100 кг. Если между x и y всегда существует линейная зависимость, тогда $n = 1$ и, согласно двум последним уравнениям, $x = 22 \text{ кг}$ и $y_0 = -14 \text{ г/час}$. Графически это решение представлено на фиг. 23.

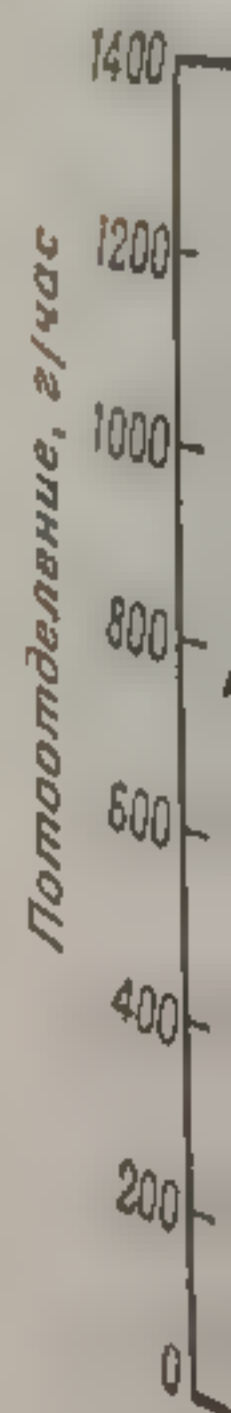
К другому решению мы приходим, если предположим, что, какова бы ни была связь между величиной потоотделения и весом тела, при x , равном нулю, y всегда должен равняться нулю ($y_0 = x_0 = 0$). (В действительности сплошная линия на графике проходит не через нулевую точку, а только близко от нее.) Последнее уравнение легко решается для n , и наше первое выражение принимает вид

$$y = mx^{0.76}.$$

Величина показателя (n) зависит от наклона сплошной линии на фиг. 35 (наклон $= n/70$). Из-за разбросанности точек мы не можем с уверенностью говорить о величине n , но все же эти данные свидетельствуют о том, что, по всей вероятности, n меньше 1 (на что указывает пунктирная линия фиг. 35). Следовательно, раз-

Зависимость

На фиг. 36 пр
даны, в том чис
фиг. 25. Все лини



Фиг. 36
и темпер

и положен
температуры во
средним з
несколько
эксперимен
температура в
эксперименты

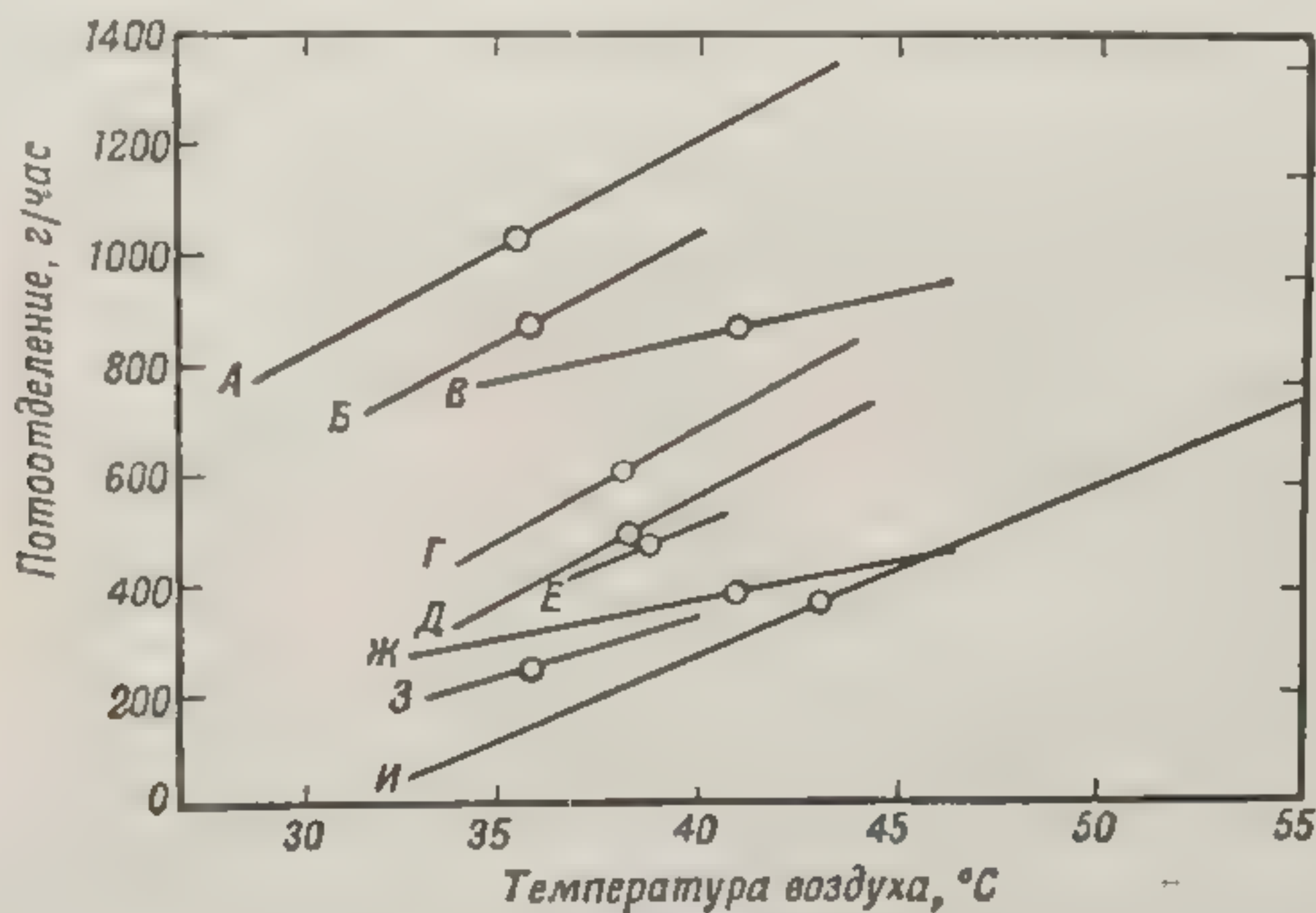
ница между наклоном пунктирной (0,0143) и сплошной (0,0109) линии более чем вдвое превышает стандартную ошибку при определении наклона последней ($\pm 0,0015$).

На основании приведенных в тексте теоретических соображений (относительная площадь поверхности тела) мы считаем, что наиболее вероятное значение показателя $n = 0,67$. Эта величина отличается от величины, полученной экспериментальным путем (0,76), меньше, чем на стандартную ошибку. Графическое изображение этого решения ($n = 0,67$) представлено на фиг. 24.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Зависимость между потоотделением и температурой воздуха

На фиг. 36 представлены результаты девяти серий экспериментов, в том числе эксперимента, послужившего основанием для фиг. 25. Все линии нанесены по методу наименьших квадратов.



Фиг. 36. Зависимость между величиной потоотделения и температурой воздуха. Значения букв те же, что и в табл. 5.

Длина и положение каждой линии указывают пределы колебаний температуры во время экспериментов; светлые кружки соответствуют средним значениям. На основании этих материалов было сделано несколько общих выводов, хотя мы и не считаем, что эти серии экспериментов дают возможность провести строгий анализ, ибо температура воздуха является не единственным климатическим фактором, влияющим на процесс потоотделения.

Эксперименты проводились при следующих условиях:

1) все испытания проводились в пустыне Колорадо в юго-восточной части Калифорнии;

2) температура воздуха всегда измерялась при помощи хорошо защищенного от солнца сухого термометра, обычно находившегося в метеорологической будке;

3) относительная влажность воздуха всегда была низкой;

4) солнце никогда не скрывалось за облаками и небо обычно было совершенно безоблачным;

5) испытания проводились в течение 4 час., в то время когда солнце стояло в зените;

6) скорость ветра редко была меньше 2—0 и больше 9 м/сек;

7) испытуемые всегда были одеты; обычно они носили костюмы из бумажной диагонали и тропические шлемы (того или иного типа);

8) все средние величины потоотделения при помощи коэффициентов, указанных в табл. 3, были приведены к величине потоотделения стандартного испытуемого весом 70 кг.

Для того чтобы определить наиболее правильный наклон линии, выражающей зависимость между величиной потоотделения и температурой воздуха, необходимо было «синтезировать» данные различных экспериментов и установить достоверность каждой серии результатов статистическим путем. В табл. 5 приводятся итоги статистической обработки всех данных фиг. 36. Показателем достоверности является коэффициент детерминации (r^2), выражающий изменение потоотделения, обусловленное температурой воздуха. Остальные колебания могут быть приписаны действию других факторов, например различиям в физической деятельности испытуемых или времени их пребывания на солнцепеке, а также и ошибкам измерений.

Материал, которым мы располагаем, содержит данные трех серий экспериментов, проведенных на испытуемых, передвигавшихся по солнцепеку, а именно: опыты в полевых условиях 1942 г. (табл. 5, серия Б), 1943 г. (табл. 5, серия В) и опыты 1937 г., выполненные в Боулдер-Сити (табл. 5, серия Г). Судя по коэффициенту детерминации, данные 1943 г. гораздо менее достоверны, чем данные 1942 г. В 1943 г. была тенденция в жаркие дни уменьшать скорость ходьбы и поэтому коэффициент регрессии, по материалам экспериментов этого года, получается более низким и менее надежным. Напротив, в 1942 и в 1937 гг. скорость передвижения испытуемых была всегда одинаковой. И все же, несмотря на то что в этих трех сериях скорость передвижения испытуемых и особенности местности были различны, мы сочли правильным объединить их результаты, так как пытались с наибольшей полнотой выяснить зависимость между температурой воздуха и потоотделением у людей, передвигающихся пешком по пустыне. Для суммирования материала мы использовали произвольно выбранную методику: брали взвешенную среднюю из наклона трех линий (взвешенная по их коэффициентам

Серия опытов	Число опытов	Коэффициент корреляции	Средняя температура воздуха, °C	Пределы температурных колебаний, °C	Средняя величина потоотделения, г/час	Величина потоотделения при температуре, °C
А	10	0,85	37,7	3,0	37,7	37,7
Б	10	0,85	37,7	3,0	37,7	37,7
В	10	0,85	37,7	3,0	37,7	37,7
Г	10	0,85	37,7	3,0	37,7	37,7

Таблица 5

КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ВЕЛИЧИНОЙ ПОТООТДЕЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУХА ¹⁾

Серия опытов	Год	Условия опыта	Количество опытов	Количество измерений	Средняя температура воздуха, °C	Пределы температурных колебаний, °C	Средняя величина потоотделения, г/час	Величина потоотделения при 37,7°, г/час	Стандартное отклонение температуры, °C	Стандартное отклонение величины потоотделения, г/час	Коэффициент регрессии (b), г/час, °C	Коэффициент детерминации (r ²)
А	1937	Ходьба по солнцепеку . . .	93	93	34,7	28,3—42,8	1 020	1 160	3,3	197	13,4	0,55
Б	1942	То же	16	486	35,0	31,1—39,4	872	980	2,8	155	11,9	0,46
В	1943	» »	40	335	40,2	33,9—45,5	860	810	3,1	97	4,8	0,25
Г	1943	Ходьба ночью	4	143	37,5	33,3—43,3	600	610	3,9	180	13,5	0,96
Д	1943	Сидение на солнцепеке .	21	173	37,6	33,3—43,8	484	490	2,4	119	12,1	0,65
Е	1942	То же	10	100	38,1	36,1—40,0	473	460	1,3	64	9,5	0,37
Ж	1943	Сидение в тени	17	150	40,2	32,2—45,5	377	350	3,8	76	4,0	0,42
З	1943	Сидение ночью	4	42	35,4	32,8—39,5	249	300	2,7	63	6,3	0,72
И	1923	Сидение в лаборатории . .	20	86	42,3	32,2—53,8	373	230	6,6	223	9,9	0,90

1) Все испытуемые были в одежде (за исключением серии А, когда они были почти полностью обнажены); все данные (за исключением серии И, проведенной в лаборатории) были получены в условиях пустыни. Все средние величины потоотделения (за исключением серий А и И) были приведены к потоотделению стандартного испытуемого весом 70 кг. При вычислениях данные каждого эксперимента принимались за результаты одного измерения.

детерминации) и взвешенную среднюю стандартной величины потоотделения, за которую была выбрана величина потоотделения при температуре воздуха $37,7^\circ$ (результаты исследований, произведенных в Боулдер-Сити, сюда не были включены потому, что испытуемые в этом случае были без одежды). Обработка этим методом показывает, что средний наклон соответствует 22 г/час на повышение температуры в $0,5^\circ$ при пересчете на человека весом 70 кг , а средняя величина потоотделения при $37,7^\circ$ равняется 920 г/час на человека весом 70 кг .

Насколько нам известно, данные наших наблюдений, проведенных летом 1943 г. (табл. 5, серия Г), являются единственным однозначным материалом по определению потоотделения у людей, идущих пешком по пустыне в почное время. Эти материалы показывают наличие высокой корреляции между величиной потоотделения и температурой воздуха ($r = 0,98$). Прямая, наиболее близкая к экспериментальным данным, имеет наклон, соответствующий 24 г/час на повышение температуры в $0,5^\circ$ из расчета на человека весом 70 кг (почти не отличается от наклона прямой, вычерченной для испытуемых, ходивших по солнцепеку). Однако средняя величина потоотделения в ночное время значительно ниже, чем днем; разница между ними достигает 610 г/час при температуре $37,7^\circ$ при пересчете на человека весом 70 кг .

В нашем распоряжении имеются две серии наблюдений, проведенных в пустыне на испытуемых, сидевших на солнцепеке (табл. 5, серии Д, Е). Если данные этих наблюдений обработать указанным выше способом, мы получим средний наклон, соответствующий 20 г/час на повышение температуры в $0,5^\circ$, и среднюю величину потоотделения 480 г/час при $37,7^\circ$. В то время как этот наклон не отличается сколько-нибудь значительно от наклона, вычисленного для испытуемых, находившихся в движении, величина потоотделения и в данном случае оказывается гораздо более низкой.

Значительно труднее анализировать данные, касающиеся людей, отдыхающих в тени. Единственные имеющиеся в нашем распоряжении материалы, полученные в полевых условиях (см. табл. 5, серия Ж), дают очень небольшой наклон линии и низкий коэффициент детерминации. Низкая корреляция, очевидно, объясняется тем, что мы использовали несколько родов затенения: открытую палатку, барачное помещение и тень, отбрасываемую бараклом. Другие данные, которые можно было бы сравнивать с вышеуказанными, включают измерения, произведенные на испытуемых, либо отдыхавших в пустыне ночью (табл. 5, серия З), либо находившихся в помещении лаборатории (табл. 5, серия И). Наклон этих прямых значительно меньше, чем наклон прямых, полученных для людей, сидящих или идущих по солнцепеку. Теоретический анализ этой проблемы приводит к тому же самому выводу. Однако поскольку данные, полученные в полевых условиях,

Потоотделение

При проведении...
вали две группы и...
пы ходили по оди...
времени. Одна гру...
вой воды, вторая...
8 час., максимальн...

Результаты этог...
величина потоотде...
которые был разд...
за 1 час, хотя эти...
больше 2 час.).

Так как некото...
стро, не закончив...
в начале этапа) мен...
отделения вычислял...
этап перехода.

Совершенно ясн...
время перехода, пр...
гаизма. Соотношен...
за каждый этап пер...
пальцевой воды, вы...
за исключением н...
чающих воду. Одна...
васкости от возвра...
(0,76) приходится...
ед. е. имеет значен...

Сводные данн...
мым, выделявшим...
позволяющим неогр...
чительная потеря...
испытуемых, лини...
весе в среднем 7,4...
личества воды, ко...

не дают возможности достаточно точно определить наклон прямых мы совершенно произвольно выбрали наклон, соответствующий 15 г. час на повышение температуры в $0,5^{\circ}$. Значение средней величины потоотделения и температуры воздуха были взяты из табл. 5, серия Ж.

Фиг. 26 была построена с использованием этих наклонов и начальной точки прямой. Она в общей форме отражает влияние температуры воздуха на потоотделение при четырех различных условиях жизни в пустыне.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

Потоотделение при обезвоживании организма в пустыне

При проведении исследований по этому вопросу мы использовали две группы испытуемых с одинаковым весом тела. Обе группы ходили по одному и тому же маршруту в течение одинакового времени. Одна группа получала неограниченное количество питьевой воды, вторая не получала воды совершенно. Переход длился 8 час., максимальная температура воздуха была $34,4^{\circ}$.

Результаты этого эксперимента представлены в табл. 6. Средняя величина потоотделения за пять последовательных этапов, на которые был разделен весь переход, выражена в виде величины за 1 час, хотя эти этапы длились разное время (меньше 1 часа и больше 2 час.).

Так как некоторые испытуемые из обеих групп выбывали из строя, не закончив перехода, то средний вес идущих (измеряемый в начале этапа) менялся от этапа к этапу. Средняя величина потоотделения вычислялась с учетом испытуемых, закончивших данный этап перехода.

Совершенно ясно, что у испытуемых, не получавших воды во время перехода, происходило все возрастающее обезвоживание организма. Соотношение между средними величинами потоотделения за каждый этап перехода показывает, что у испытуемых, лишенных питьевой воды, выделялось несколько меньшее количество пота (за исключением начала эксперимента), чем у испытуемых, получавших воду. Однако это отношение не уменьшается в строгой зависимости от возрастания дегидратации. Минимальное его значение (0,78) приходится на четвертый этап перехода. Возможно, что здесь имеет значение то обстоятельство, что именно в это время температура воздуха достигла своего максимума.

Сводные данные за весь переход относятся только к испытуемым, выдержавшим эксперимент до конца. Даже у испытуемых, получавших неограниченное количество воды, обнаружилась значительная потеря веса тела (4,3%). За время всего эксперимента испытуемые, лишенные воды и потерявшие, в конечном счете, в весе в среднем 7,4%, потратили на испарение только 0,89 того количества воды, которое израсходовалось у испытуемых, полу-

Таблица 6

ПОТООТДЕЛЕНИЕ ВО ВРЕМЯ ПОХОДА У ИСПЫТУЕМЫХ, СНАБЖЕННЫХ ВОДОЙ И ЛИШЕННЫХ ЕЕ (переход совершен 22 испытуемыми 30 сентября 1942 г.)
По этапам

Различные показатели	Условия опыта	1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап	5-й этап
Число идущих испытуемых	{ Без воды С водой	13 9	13 9	13 9	11 8	5 6
Средний исходный вес тела, кг	{ Без воды С водой	69,1 66,0	69,1 66,0	69,1 66,0	68,9 66,0	62,7 62,2
Отношение времени перехода к общему времени эксперимента . . .	{ Без воды С водой	0,80 0,89	0,84 0,78	0,78 0,89	0,65 0,72	0,73 0,63
Средняя величина потоотделения, г/час . . .	{ Без воды С водой	610 590	610 690	790 870	600 770	600 610
Отношение величины потоотделения у испытуемых без воды с водой		1,03	0,88	0,91	0,78	0,98

Таблица 7

ПОТООТДЕЛЕНИЕ ВО ВРЕМЯ ПОХОДА У ИСПЫТУЕМЫХ, СНАБЖЕННЫХ ВОДОЙ И ЛИШЕННЫХ ЕЕ
За весь переход

Различные показатели	Условия опыта	
	без воды	с водой
Число испытуемых, окончивших переход	5	6
Средний исходный вес тела, кг	62,7	62,2
Длина маршрута, км	33,6	33,6
Общая продолжительность эксперимента, мин . . .	445	434
Отношение времени перехода к общему времени эксперимента	0,77	0,78
Средняя скорость перехода, км/час	5,9	5,9
Потеря веса тела к концу перехода, %	7,4	4,3
Общее количество выделившегося пота, г/человека	4680	5240
Отношение величин потоотделения у испытуемых без воды с водой		0,89

чавших воду. Подобные же различия обнаруживаются и в результатах других экспериментов, проведенных в пустыне. Однако различия эти варьируют по своей величине, так как экспериментальные условия и проводимые измерения невозможно регулировать до той степени точности, которая необходима при оценке столь незначительных различий.

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

Потоотделение при полетах на различной высоте

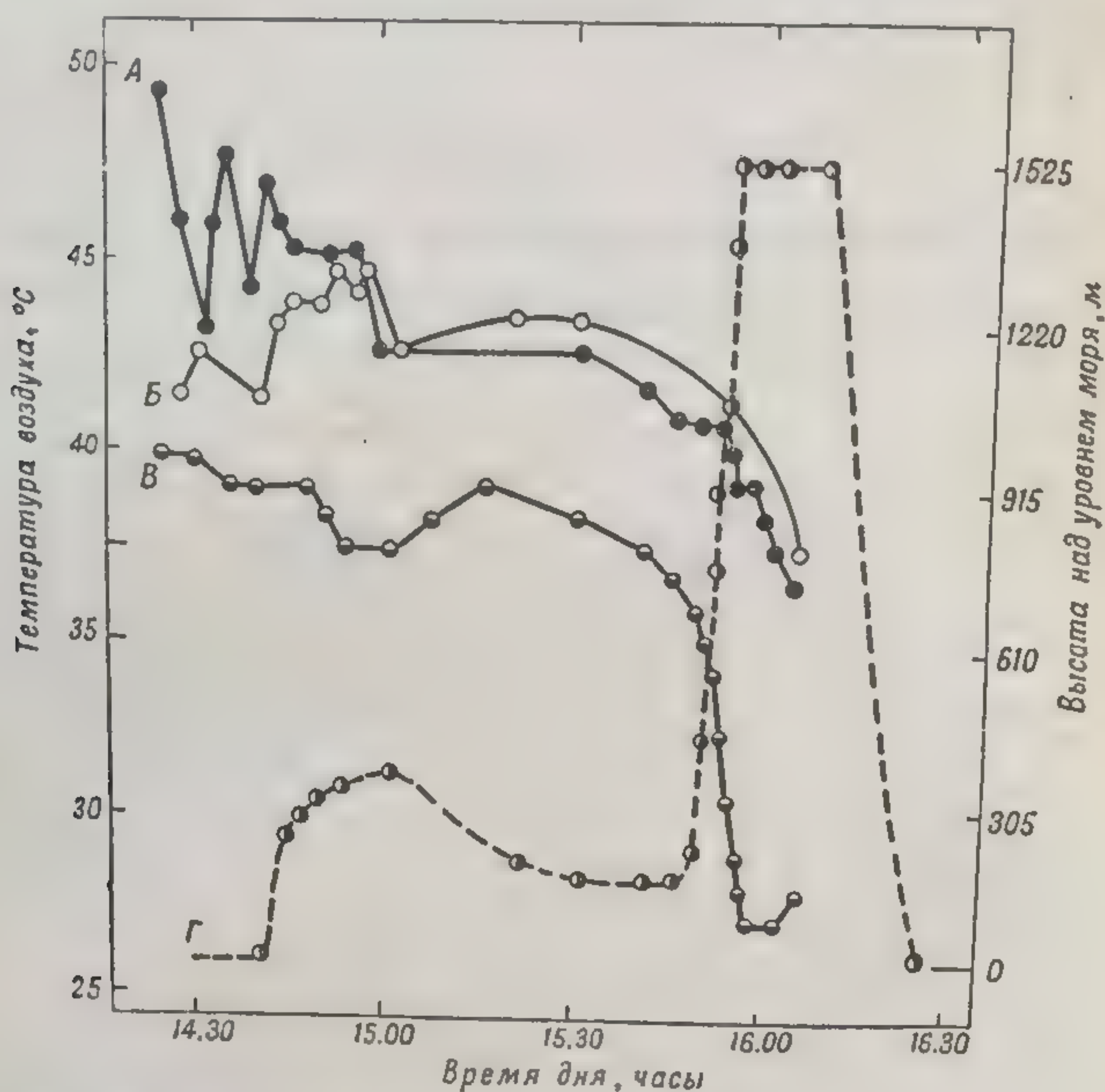
При проведении этих испытаний потоотделение у экипажа самолета измерялось при помощи повторных взвешиваний. Во время полетов над пустыней на небольшой высоте потери в весе были значительными, что указывает на большой дефицит воды в организме. Величина потоотделения сильно варьировала в зависимости от температуры в различных частях самолета.

На фиг. 37 показана температура окружающего воздуха и температура носовой и средней части фюзеляжа самолета В-17 при полете на разных высотах. Еще на земле, перед подъемом, наружная поверхность самолета быстро становится такой горячей, что до нее нельзя дотронуться, а температура в плохо вентилируемых внутренних помещениях значительно превышает температуру воздуха. Например, при температуре воздуха $40,5^{\circ}$ в носовой части было $51,6^{\circ}$, в фюзеляже $40,5^{\circ}$, а в радиорубке $43,9^{\circ}$. В самолетах с открытой кабиной пилота температура последней приближается к температуре окружающего воздуха.

По мере того как самолет набирает высоту, температура окружающего его воздуха понижается. Однако, для того чтобы температура внутри самолета сравнялась с наружной температурой, необходимо некоторое время, и поэтому она снижается медленнее, чем температура окружающего воздуха. Даже во время полета на одной и той же высоте все внутренние помещения самолета В-17 имели более высокую температуру (примерно на 5°), чем наружный воздух, несмотря на то, что все дверцы и окна самолета были открыты. Однако по сравнению с изменением температуры, происходящим в зависимости от высоты полета, эти различия крайне незначительны. В общем, температура внутри самолета в такой же степени зависит от высоты над уровнем моря, как и температура окружающего воздуха.

Поскольку известно, что выделение пота зависит от температуры окружающего воздуха, то целью наших наблюдений было установить связь между величиной потоотделения и высотой полета. В табл. 8 приводятся данные, характеризующие эту зависимость. Экипаж самолета взвешивался до и после полета. Между первым взвешиванием и началом полета проходило 10—20 мин., в течение

которых экипаж подвергался действию горячего воздуха на земле и высокой температуры во внутренних помещениях самолета. После начала полета проходило еще 10—20 мин., прежде чем температура внутри самолета уравнивалась с температурой наружного



Фиг. 37. Температура окружающего воздуха и температура внутри самолета B-17 при полете над пустыней на различных высотах. А — температура в носовой части самолета; Б — температура в фюзеляже самолета; В — температура окружающего воздуха; Г — высота

воздуха на высоте полета. До окончательного взвешивания некоторое время тратилось еще на снижение и посадку самолета. Вследствие этого измеренные величины потоотделения превышают фактически имеющие место при полетах на данной высоте. Полеты, во время которых мы собирали материал, продолжались обычно 1—3 час. В табл. 8 приводится только действительная высота полета или взвешенная средняя в том случае, если полет на различных высотах продолжался довольно длительное время.

При полетах на высоте менее 600 м температура внутри самолета была выше температуры окружающего воздуха, а внутренняя

*) Величина потоотделения
всего тела.

поверхность стен кабины
Величина потоотделения
700 г. час. После та-
кого пропитана по-
верхность одежды
сначала во влажном
состоянии. Если в
ней 100 г. Если в
100 г, то она буде-
т высушена продолжи-
тельно, что высокая
температура приводит
к тому, что приходится
все же приходить к
тому, что для каждого
по 470 г. питьевой
воды. Данные, приве-
дены в табл. 24.
Так как при опи-
сании много различ-
ных случаев того, ка-
ким образом полеты на
6*

Таблица 8

ПОТООТДЕЛЕНИЕ ВО ВРЕМЯ ПОЛЕТА

Число испытуемых	Тип самолета	Дата	Время дня	Температура воздуха на уровне земли, °C	Высота, м	Средняя величина потоотделения, г/час ¹⁾
2	B-26	29.VI 1943 г.	После полудня	40,5	365	400
2	B-26	2.VII	Утро	33,3	426	480
3	B-26	3.VII	После полудня	38,8	456	560
1	B-26	6.VII	Утро	35,5	365	470
1	P-38	6.VII	»	37,7	608	600
1	P-38	6.VII	После полудня	40	304	690
1	P-47	6.VII	»	40	60	640
8	B-17	7.VII	»	39,4	486	570
1	P-47	2.VII	Утро	34,4	912	330
1	P-47	2.VII	После полудня	37,2	912	360
7	B-17	3.VII	»	38,3	760	370
1	P-39	2.VII	Утро	35,5	1247	390
1	B-25	1.VII	»	33,3	1520	400
1	P-39	2.VII	После полудня	37,2	2280	340
6	B-25	1.VII	»	38,3	2432	270
3	B-17	1.VII	Утро	36,1	3040	200
1	B-26	2.VII	После полудня	37,7	3648	270
4	B-17	1.VII	Утро	37,2	9120	100

1) Величина потоотделения не приведена к величине потоотделения при стандартном весе тела.

поверхность стен кабины имела еще более высокую температуру. Величина потоотделения в этом случае варьировала от 400 до 700 г/час. После таких низких полетов одежда экипажа была неизменно пропитана потом. Приблизительно через 10 мин. после посадки самолета одежда двух человек из его экипажа была взвешена сначала во влажном, а затем в сухом виде; разница оказалась равной 100 г. Если в величину потоотделения внести поправку на эти 100 г, то она будет составлять 500—800 г/час. Обычно стараются избегать продолжительных полетов на таких низких высотах, потому что высокая температура вредит и самолету и экипажу. Если все же приходится лететь на такой высоте в течение часа или более, то для каждого человека из экипажа необходимо, по крайней мере, по 470 г питьевой воды в час.

Данные, приведенные в табл. 8, графически представлены на фиг. 34.

Так как при определении этих данных пришлось сделать слишком много различных допущений, они могут служить лишь показателем того, какой величины может достигать потоотделение при полетах над районами пустынь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meeh K., *Ztschr. f. Biol.*, 15, 425 (1879).
2. Rowntree L. G., McGill K. H., Folk O. H., *J. A. M. A.*, 118, 1223 (1942).
3. McConnell W. J., Houghten F. C., Yagloglou C. P., *J. Am. Soc. Heat. & Ventil. Engin.*, 30, 3 (1923).
4. Winslow C.-E. A., Herrington L. P., Gagge A. P., *Am. J. Physiol.*, 116, 669 (1936).
5. Adolph E. F., Dill A. B., *Am. J. Physiol.*, 123, 369 (1938).
6. Pitts G. C., Johnson R. E., Consolazio F. C., *Am. J. Physiol.*, 142, 253 (1944).

ТЕПЛООБМЕН

В характеристике...
...математическими...
...Хотя послед...
...окружающей...
...это же полезны...
...этого...
...человека в пусты...
...сведений об...
...анатомические данные...
...известно, выделе...
...которого увел...
...охлаждения, насту...
...ра кожи редко...
...обычно бывает о...
...способность этому тем...
...равна тем...
...в тени, и гора...
...Так как в течение...
...35° (см. фиг...
...одную поверх...
...предметов...
...они посылаю...
...температу...
...человека, исп...
...обеспечивающ...
...от суммарного к...
...тепла, проду...
...уравнение

Глава V

ТЕПЛООБМЕН В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ

В характеристику любой среды, в которой может жить человек, наравне с климатическими данными входят также и физиологические показатели. Хотя последними часто и пренебрегают, но фактически для оценки окружающей человека среды физиологические исследования столь же полезны, как и метеорологические наблюдения. Для иллюстрации этого положения, мы рассмотрим здесь теплообмен человека в пустыне, из которого можно будет почерпнуть много таких сведений об условиях пустыни, каких не смогут дать метеорологические данные.

Как известно, выделение пота является эффективным средством, при помощи которого увеличивается теплоотдача организма. Вследствие охлаждения, наступающего в результате испарения пота, температура кожи редко превышает $37,7^{\circ}$; даже на самом солнцепеке она обычно бывает около 35° , а часто даже еще ниже. В противоположность этому температура поверхности других физических тел в пустыне равна температуре воздуха в том случае, если они находятся в тени, и гораздо выше, если на них падают солнечные лучи. Так как в течение дня температура воздуха в пустыне обычно превышает 35° (см. фиг. 11), то кожа человека представляет собой самую холодную поверхность по сравнению с поверхностью других окружающих предметов. Солнце, небосвод, воздух, почва, строения — все они посылают тепло этой «холодной» поверхности. До тех пор пока температура окружающей среды превышает температуру кожи человека, испарение пота является единственным механизмом, обеспечивающим теплоотдачу. Величина потоотделения зависит от суммарного количества тепла, поступающего из внешней среды, и тепла, продуцируемого в самом организме человека.

Основное уравнение теплообмена имеет следующий вид:

$$L = M + E \pm S,$$

где L — теплоотдача за счет испарения воды, содержащейся в организме; M — тепло, образующееся в результате процессов метаболизма; E — тепло поступающее из окружающей среды; S — тепло, накапливающееся в организме, или изменение содержания тепла в организме как целом. В том случае, когда $S = 0$ (т. е. когда средняя температура тела не изменяется), теплоотдача путем испарения равна сумме всего получаемого организмом человека тепла.

Эта глава, в основном, посвящается определению величины E или, другими словами, общего количества тепла, получаемого из окружающей среды. E выражает собой физиологический итог действия разнообразных климатических факторов и служит показателем того, насколько трудно переносить данные условия среды. Согласно вышеприведенному уравнению, E можно определить путем измерения L , M и S . Таким способом часто определяют E внутри помещений. Адольф [1] показал, что тот же самый метод может быть с успехом использован и для оценки условий существования в пустыне. Несмотря на то, что физиологический метод определения E дает несколько приближенные результаты, он требует меньше произвольных допущений, чем любой другой известный метод определения E , основанный только на климатологических данных.

Экспериментальная методика и расчеты

На фиг. 38 показана типичная картина эксперимента, проводимого в условиях пустыни: выдыхаемый испытуемым воздух собирается в прорезиненный мешок (мешок Дугласа), который несет наблюдатель. Объем выдыхаемого воздуха измеряется при помощи газовых часов, а содержание кислорода и углекислого газа — посредством химического анализа в газоанализаторе Холдена.



Фиг. 38. Определение потребления кислорода путем собирания выдыхаемого воздуха. Испытуемый (слева) выдыхает воздух через клапан в мешок Дугласа, который несет один из наблюдателей, в то время как другой наблюдатель отмечает по секундомеру время взятия пробы воздуха.

Первое допущение заключалось в том, что мы считали интенсивность процессов обмена веществ постоянной и поэтому собирали пробы выдыхаемого воздуха за точно измеренные промежутки времени продолжительностью 5—15 мин. Для контроля периодически брались повторные пробы; в среднем такие двойные определения M разнятся лишь на 3% в экспериментах, проводившихся над испытуемыми как в состоянии покоя, так и во время ходьбы.

Необходимо упомянуть о нескольких технических подробностях проведенных нами экспериментов. Наблюдения над испытуемыми продолжались в течение 1—2 час., причем все полученные данные приводились к их значению за 1 час.

Первое допущение заключалось в том, что мы считали интенсивность процессов обмена веществ постоянной и поэтому собирали пробы выдыхаемого воздуха за точно измеренные промежутки времени продолжительностью 5—15 мин. Для контроля периодически брались повторные пробы; в среднем такие двойные определения M разнятся лишь на 3% в экспериментах, проводившихся над испытуемыми как в состоянии покоя, так и во время ходьбы.

ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДЛЯ ИЗ

№ испытуемого	Вес тела, кг
1	72
2	63
3	72,5
4	68
5	68,5
6	74
7	71
8	71
9	72,5
10	72,5
11	72,5

Следующим принятым нами допущением было представление о том, что устойчивый уровень метаболических процессов при физической работе устанавливается и нарушается внезапно, точно соответствуя началу и концу физической деятельности. Это допущение совершенно закономерно при выполнении такой легкой работы, какая выполнялась в наших исследованиях. Наконец, для определения энергетической стоимости 1 л кислорода мы пользовались средним дыхательным коэффициентом [2], что практикуется очень часто. Хотя трудно определить, как велика суммарная ошибка, обусловливаемая принятыми нами допущениями, несомненно, что измеренная величина теплопродукции в организме человека в состоянии покоя вполне надежна (отклонения не превышают 5 ккал/час). Значение других величин в нашем основном уравнении теплообмена не может быть определено с такой точностью.

При сравнении теплопродукции у двух или более испытуемых интенсивность этого процесса обычно выражается в килограмм-калориях в 1 час на квадратный метр поверхности тела. Однако при расчетах мы не принимали во внимание последнего фактора, так как все наши испытуемые были одинакового роста и сложения. Как можно видеть из табл. 9, испытуемые, используемые не в одном, а в нескольких экспериментах, различались по весу тела не больше чем на 4 кг (70—74 кг), а по площади поверхности тела только на 0,1 м² (1,81—1,94 м²). Никаких нарушений обмена веществ у этих людей обнаружено не было.

Таблица 9

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПЫТУЕМЫХ СУБЪЕКТОВ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕПЛОПРОДУКЦИИ ОРГАНИЗМА [4]

№ испытуемого	Вес тела, кг	Рост испытуемого		Жизненная емкость легких, л	Площадь поверхности тела, м ²	Возраст, годы	Обхват груди в конце нормального выдоха, см
		в стоячем положении, см	в сидячем положении, см				
1	72	184	94	5,4	1,94	31	93
2	63,5	183	—	4,9	1,82	27	—
3	72	185	91	4,0	1,93	21	92
4	68,5	184	91	5,3	1,89	21	90
5	69,5	176	93	4,8	1,84	24	96
6	74	181	96	4,7	1,92	37	92
7	71	176	—	5,0	1,85	—	—
8	71	187	95	3,7	1,93	21	87
9	90,5	202	100	5,9	2,26	21	92
10	73	179	—	5,6	1,90	25	94
11	72	181	93	5,3	1,91	22	93

Поскольку мы не принуждали испытуемых к полной бездеятельности, вычисленные нами величины M в состоянии покоя оказываются выше величины основного обмена. В среднем у лежащих людей M равно 81 ккал/час, у сидящих — 93 ккал/час и у стоящих — 98 ккал/час. Мы не наблюдали (так же как и в Пирсовской лаборатории гигиены) стойких изменений величины M в зависимости от колебаний температуры воздуха (32,2—43,3° при низкой влажности).

Согласно нашему уравнению, S вычитается из M в том случае, если в организме человека накапливается тепло, и прибавляется к M , когда организм человека отдает тепло. Для того чтобы определить величину S , проще всего предположить (как мы и делали), что, во-первых, все ткани в равной мере получают (или отдают) тепло и, во-вторых, показателем этого служит ректальная температура. В таком случае количество аккумулированного тепла (ккал) равно 0,83, умноженному на вес тела (кг), умноженному на изменение ректальной температуры. (Коэффициент 0,83, характеризующий теплоемкость человеческого тела, согласно Дюбуа [3], «обычно всеми используется, хотя величина его не вполне точно установлена и он не может быть совершенно одинаковым для толстых и худых индивидуумов».) Наше допущение в отношении аккумуляции тепла приемлемо только потому, что почти во всех экспериментах она была крайне мала: в среднем (независимо от знака) около 18 ккал, выражающихся в изменении ректальной температуры на 0,3°. 18 ккал составляют лишь 6% вычисленного для этих экспериментов количества тепла, поступающего из окружающей среды.

Наш метод определения величины испарения по уменьшению веса тела описан на стр. 40 и 41. Для измерения количества отдаваемого тепла (L) нужно полученную величину умножить на скрытую теплоту парообразования воды (0,58 ккал/г). Поскольку мы определяли разницу в весе тела с точностью лишь до ± 20 г, то нужно считать, что значение L определяется с точностью до ± 12 ккал.

При подобном методе вычисления L , конечно, предполагается, что ни одна капля пота не стекает на землю, однако в условиях пустыни, при наличии солнца и ветра, это является не допущением, а повседневным явлением. Хотя обычно пот испаряется с поверхности кожи немедленно при выделении, все же некоторое количество влаги даже под жаркими лучами солнца пустыни неизбежно поглощается одеждой (и затем испаряется). Говорить об этой части пота, как о воде, растрачиваемой организмом впустую, значит считать, что влага, впитавшаяся одеждой, не способствует уменьшению поступления тепла в организм, так как испарение ее отнимает тепло от ткани костюма, а не от кожи. Однако почти все тепло, поглощенное одеждой, передается телу человека, за исключением того,

которое рассеивается при испарении пота через отверстия в ткани; во всяком случае есть все основания рассматривать это тепло как часть тепла, получаемого телом человека.

Мы пытались отдельно учитывать количества тепла, получаемые телом и одеждой человека, ибо в условиях высокой температуры окружающей среды они не всегда бывают полностью эквивалентны.

Ниже (стр. 97) приводятся данные, указывающие на то, что часть тепла, полученного одеждой человека, не передается его телу и не выделяется при испарении пота из ткани костюма. Куда бы ни девалось это тепло, оно не может входить в количество тепла, получаемого человеком от окружающей среды. Если одежда содержит большое количество воды, то для сохранения теплового баланса требуется более интенсивное испарение, чем у человека в сухой одежде, только в этом случае для одинакового охлаждения тела у одетого человека должно выделяться большее количество пота, чем у обнаженного. Конечно, нельзя испарение всего пота, который пропитывает одежду, рассматривать как растрачивание пота впустую, но так как в условиях пустыни одежда содержит крайне незначительное количество влаги, то последним можно вообще пренебречь.

При одновременном измерении M , S и L количество тепла, получаемого человеком из внешней среды, можно вычислить при помощи нашего уравнения теплообмена. В указанных выше пределах E выражает количество тепла, которое фактически передается телу человека из внешней среды. В том случае, когда температура воздуха ниже температуры кожи, некоторое количество этого тепла возвращается окружающим предметам при помощи простого проведения. Таким образом, по крайней мере, при температуре, не превышающей 35° , вычисленная по нашему методу величина E выражает ту часть экзогенного тепла, которая может быть отдана только путем испарения пота. Поскольку ошибки при вычислении M , S и L дополняют друг друга, любое значение E можно определить с точностью ± 25 ккал/час. Результаты этого исследования и конкретные условия каждого проведенного нами эксперимента сообщаются в табл. 10.

Величины M , S и L , приведенные в табл. 10, получены за весь период испытаний. Отрицательное значение S указывает на аккумуляцию тепла, о чем свидетельствует также и повышение ректальной температуры. Тепло, поступающее из окружающей среды (E), вычисляется по формуле

$$E = L - M \pm S.$$

Испытуемые во время экспериментов большей частью были одеты и находились на солнцепеке (в таблице указаны и другие варианты экспериментов). Когда эксперименты проводились над испытуемыми, находящимися в сидячем положении, последние

СВОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПОСТУПЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННОГО ТЕПЛА
В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА В ПУСТЫНЕ

№ экспери- мента	Испытуемый	Дата	Время дня	Положение испы- туемого во время опыта	M, ккал	S, ккал	L, ккал	E, ккал	L, ккал/час	Температура воздуха, °C	Скорость испи- ра, мл/сек	Род одежды
1	А	2.VIII 1943	13 час. 16 мин.— 14 » 19 »	Стоя на солнце- пеке	103	+ 3	325	219	208	36,9	7,6	Рубашка и брюки цве- та хаки, без голов- ного убора
2	Б	2.VIII	13 » 17 » — 14 » 20 »	Лежа на песке на солнцепеке	96	+14	429	319	304	36,9	7,6	То же
3	В	26.VII	9 » 40 » — 11 » 24 »	Сидя на солнце- пеке	160	—23	656	519	299	38,6	4,9	Коричневые трусы, нос- ки, ботинки
4	Г	26.VII	9 » 43 » — 11 » 27 »	То же	166	—23	731	588	339	38,6	4,9	То же
5	Д	26.VII	9 » 44 » — 11 » 28 »	» »	154	—12	540	398	230	38,6	4,9	Костюм из вискозной диагонали, тропиче- ский шлем, бутцы
6	Е	26.VII	9 » 41 » — 11 » 25 »	» »	208	— 3	592	387	223	38,6	4,9	То же
7	В	27.VII	14 » 12 » — 15 » 50 »	» »	148	—24	888	764	468	43,3	3,6	Коричневые трусы, носки, ботинки
8	Ж	27.VII	14 » 10 » — 15 » 48 »	» »	183	—16	911	744	455	43,3	3,6	То же
9	Д	27.VII	14 » 11 » — 15 » 49 »	» »	155	—24	696	565	346	43,3	3,6	Костюм из вискозной диагонали, тропиче- ский шлем, ботинки
10	Е	27.VII	14 » 13 » — 15 » 51 »	» »	152	—17	789	654	400	43,3	3,6	То же
11	З	21.VII	14 » 35 » — 15 » 36 »	» »	96	—21	498	421	415	40,5	3,6	Коричневые трусы, носки, ботинки
12	Г	3.VIII	13 час. 11 мин.— 14 » 14 »	» »	87	—14	417	345	329	36,6	8,5	Брюки из вискозной диагонали, носки, ботинки
13	В	28.VII	9 » 54 » — 10 » 52 »	» »	77	0	197	120	124	36,9	—	Костюм из вискозной диагонали, шлем обычный
14	Д	28.VII	9 » 53 » — 10 » 51 »	Сидя в палатке	92	— 9	133	50	52	36,9	—	Костюм из вискозной диагонали, без го- ловного убора
15	Д	28.VII	8 » 45 » — 9 » 43 »	Сидя на солнце- пеке	82	+ 9	209	118	122	35,5	—	Костюм из вискозной диагонали, шлем обычный
16	В	28.VII	8 » 46 » — 9 » 44 »	Сидя в палатке	81	+21	110	8	8	35,5	—	Костюм из вискозной диагонали, без го- ловного убора
17	И	9.VIII	9 » 56 » — 11 » 24 »	Лежа на песке на солнцепеке	100	+11	510	399	272	36,9	—	Костюм из бумажной диагонали, без го- ловного убора
18	Б	9.VIII	9 » 57 » — 11 » 25 »	Лежа на песке в походной па- латке	119	+ 9	313	185	126	36,9	—	То же
19	К	21.VII	14 » 35 » — 15 » 36 »	Сидя на солнце- пеке	99	+12	354	243	239	40,5	4,0	Комбинезон, фуражка, бутцы
20	З	21.VII	15 » 55 » — 16 » 55 »	То же	91	+40	307	176	176	40,0	3,1	Костюм из бумажной диагонали, фуражка
21	З	20.VII	13 » 12 » — 14 » 27 »	При ходьбе с грузом 2,7 кг	316	—24	644	307	246	39,4	4,9	Рубашка и трусы цвета хаки, шлем обычный
22	З	20.VII	9 » 38 » — 10 » 50 »	При ходьбе с грузом 13 кг	411	—24	534	147	122	35,0	4,0	То же
23	З	20.VII	14 » 58 » — 16 » 09 »	При ходьбе с грузом 23 кг	475	—48	778	351	297	40,8	8,5	» »
24	Л	2.VIII	9 » 38 » — 10 » 46 »	При быстрой ходьбе по солнцепеку	484	—36	534	86	76	32,5	6,7	Рубашка и трусы цвета хаки, тропический шлем
25	Б	2.VIII	9 » 39 » — 10 » 47 »	Стоя на солнце- пеке	118	— 3	290	175	155	32,5	6,7	То же

СВОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПОСТУПЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННОГО ТЕПЛА
В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА В ПУСТЫНЕ

№ экспери- мента	Испытуемый	Дата	Время дня	Положение испы- туемого во время опыта	M, ккал	S, ккал	L, ккал	E, ккал	E, ккал/час	Температура воздуха, °C	Скорость вет- ра, м/сек	Род одежды
1	А	2.VIII 1943	13 час. 16 мин.— 14 » 19 »	Стоя на солнце- пеке	103	+ 3	325	219	208	36,9	7,6	Рубашка и брюки цве- та хаки, без голов- ного убора
2	Б	2.VIII	13 » 17 » — 14 » 20 »	Лежа на песке на солнцепеке	96	+14	429	319	304	36,9	7,6	То же
3	В	26.VII	9 » 40 » — 11 » 24 »	Сидя на солнце- пеке	160	—23	656	519	299	38,6	4,9	Коричневые трусы, нос- ки, ботинки
4	Г	26.VII	9 » 43 » — 11 » 27 »	То же	166	—23	731	588	339	38,6	4,9	То же
5	Д	26.VII	9 » 44 » — 11 » 28 »	» »	154	—12	540	398	230	38,6	4,9	Костюм из вискозной диагонали, тропиче- ский шлем, бутцы
6	Е	26.VII	9 » 41 » — 11 » 25 »	» »	208	— 3	592	387	223	38,6	4,9	То же
7	В	27.VII	14 » 12 » — 15 » 50 »	» »	148	—24	888	764	468	43,3	3,6	Коричневые трусы, носки, ботинки
8	Ж	27.VII	14 » 10 » — 15 » 48 »	» »	183	—16	911	744	455	43,3	3,6	То же
9	Д	27.VII	14 » 11 » — 15 » 49 »	» »	155	—24	696	565	346	43,3	3,6	Костюм из вискозной диагонали, тропиче- ский шлем, бутцы
10	Е	27.VII	14 » 13 » — 15 » 51 »	» »	152	—17	789	654	400	43,3	3,6	То же
11	З	21.VII	14 » 35 » — 15 » 36 »	» »	96	—21	498	421	415	40,5	3,6	Коричневые трусы, носки, ботинки

12	Г	3.VIII	13 час. 11 мин.— 14 » 14 »	» »	87	—14	417	345	329	36,6	8,5	Брюки из вискозной диагонали, носки, ботинки
13	В	28.VII	9 » 54 » —	» »	77	0	197	120	124	36,9	—	Костюм из вискозной диагонали, шлем

12	Г	3.VIII	13 час. 11 мин.— 14 » 14 »	» »	87	—14	417	345	329	36,6	8,5	Брюки из вискозной диагонали, носки, ботинки
13	В	28.VII	9 » 54 » — 10 » 52 »	» »	77	0	197	120	124	36,9	—	Костюм из вискозной диагонали, шлем обычный
14	Д	28.VII	9 » 53 » — 10 » 51 »	Сидя в палатке	92	— 9	133	50	52	36,9	—	Костюм из вискозной диагонали, без головного убора
15	Д	28.VII	8 » 45 » — 9 » 43 »	Сидя на солнцепеке	82	+ 9	209	118	122	35,5	—	Костюм из вискозной диагонали, шлем обычный
16	В	28.VII	8 » 46 » — 9 » 44 »	Сидя в палатке	81	+21	110	8	8	35,5	—	Костюм из вискозной диагонали, без головного убора
17	И	9.VIII	9 » 56 » — 11 » 24 »	Лежа на песке на солнцепеке	100	+11	510	399	272	36,9	—	Костюм из бумажной диагонали, без головного убора
18	Б	9.VIII	9 » 57 » — 11 » 25 »	Лежа на песке в походной палатке	119	+ 9	313	185	126	36,9	—	То же
19	К	21.VII	14 » 35 » — 15 » 36 »	Сидя на солнцепеке	99	+12	354	243	239	40,5	4,0	Комбинезон, фуражка, бутцы
20	З	21.VII	15 » 55 » — 16 » 55 »	То же	91	+40	307	176	176	40,0	3,1	Костюм из бумажной диагонали, фуражка
21	З	20.VII	13 » 12 » — 14 » 27 »	При ходьбе с грузом 2,7 кг	316	—24	644	307	246	39,4	4,9	Рубашка и трусы цвета хаки, шлем обычный
22	З	20.VII	9 » 38 » — 10 » 50 »	При ходьбе с грузом 13 кг	411	—24	534	147	122	35,0	4,0	То же
23	З	20.VII	14 » 58 » — 16 » 09 »	При ходьбе с грузом 23 кг	475	—48	778	351	297	40,8	8,5	» »
24	Л	2.VIII	9 » 38 » — 10 » 46 »	При быстрой ходьбе по солнцепеку	484	—36	534	86	76	32,5	6,7	Рубашка и трусы цвета хаки, тропический шлем
25	Б	2.VIII	9 » 39 » — 10 » 47 »	Стоя на солнцепеке	118	— 3	290	175	155	32,5	6,7	То же

№ экспери- мента	Испытуемый	Дата	Время дня	Положение испы- туемого во время опыта	M, ккал	S, ккал	L, ккал	E, ккал	E, ккал/час	Температура воздуха, °C	Скорость вет- ра, м/сек	Род одежды
26	Е	2.VIII 1943	17 час. 15 мин.— 17 » 55 »	Лежа на кровати в хорошо вентилируе- мом бараке	54	0	133	79	119	36,9	—	
27	Д	3.VIII	9 » 27 » — 11 » 04 » —	Сидя на солнце- пеке	138	+15	360	208	129	33,3	4,5	Костюм из вискозной диагонали, шлем обычный, бутцы
28	В	3.VIII	9 » 28 » — 11 » 05 »	То же	175	—26	342	194	120	33,3	4,5	Костюм из вискозной диагонали, шлем обычный
29	М	4.VIII	9 » 05 » — 10 » 51 »	» »	215	0	470	256	145	31,9	4,0	Рубашка и трусы цвета хаки, шлем обычный
30	Б	4.VIII	9 » 06 » — 10 » 52 »	» »	177	—11	417	251	142	31,9	4,0	То же
31	В	5.VIII	15 » 14 » — 16 » 24 »	» »	118	—27	400	310	265	40,2	7,2	Костюм из вискозной диагонали, шлем обычный
32	Н	30.VII	18 » 15 » — 19 » 47 »	При ходьбе ночью	298	—15	475	192	206	43,0	—	Костюм из вискозной диагонали, фуражка
33	Н	30.VII	21 » 54 » — 22 » 45 »	То же	(240)	(—15)	342	117	138	39,1	—	Костюм из вискозной диагонали, без го- ловного убора
34	Н	31.VII	2 » 14 » — 3 » 10 »	» »	263	—36	272	45	48	34,7	—	То же
35	Н	31.VII	5 » 08 » — 6 » 02 »	» »	277	—54	238	15	17	33,3	—	» »

сидели на
туемых с
ды дано
Темпе
метра, на
показате
произвед
да была
обычно п
4 час.). В
ветра, по
где прово
ли нам во
или умер

Теп

Графи
отложены
цепке од
ная во в
на графин
емым. На
строена п
ции для
Судя
нагрузка
37,7°) за
количеств
количеств
за тот же
300 ккал/
в органи
одетый че
только 17
воздуха,
тем экстре
пустыни

¹⁾ Эти
На фиг. 39
полученных
торы регул
зависимости
последней,

сидели на небольших деревянных ящиках. Характеристика испытуемых субъектов приводится в табл. 9. Краткое описание их одежды дано в тексте на стр. 95

Температура воздуха определялась при помощи сухого термометра, находящегося в обычной метеорологической будке, а средние показатели устанавливались на основании нескольких измерений, произведенных в течение каждого опыта. Влажность воздуха всегда была низкой, а небо совершенно безоблачным. Дневные опыты обычно проводились, когда солнце находилось в зените (в течение 4 час.). В нашем распоряжении нет данных об абсолютной скорости ветра, потому что она определялась на расстоянии 3 км от места, где проводились наблюдения; однако эти определения все же давали нам возможность отличать сильно ветреные дни от дней с легким или умеренным ветром.

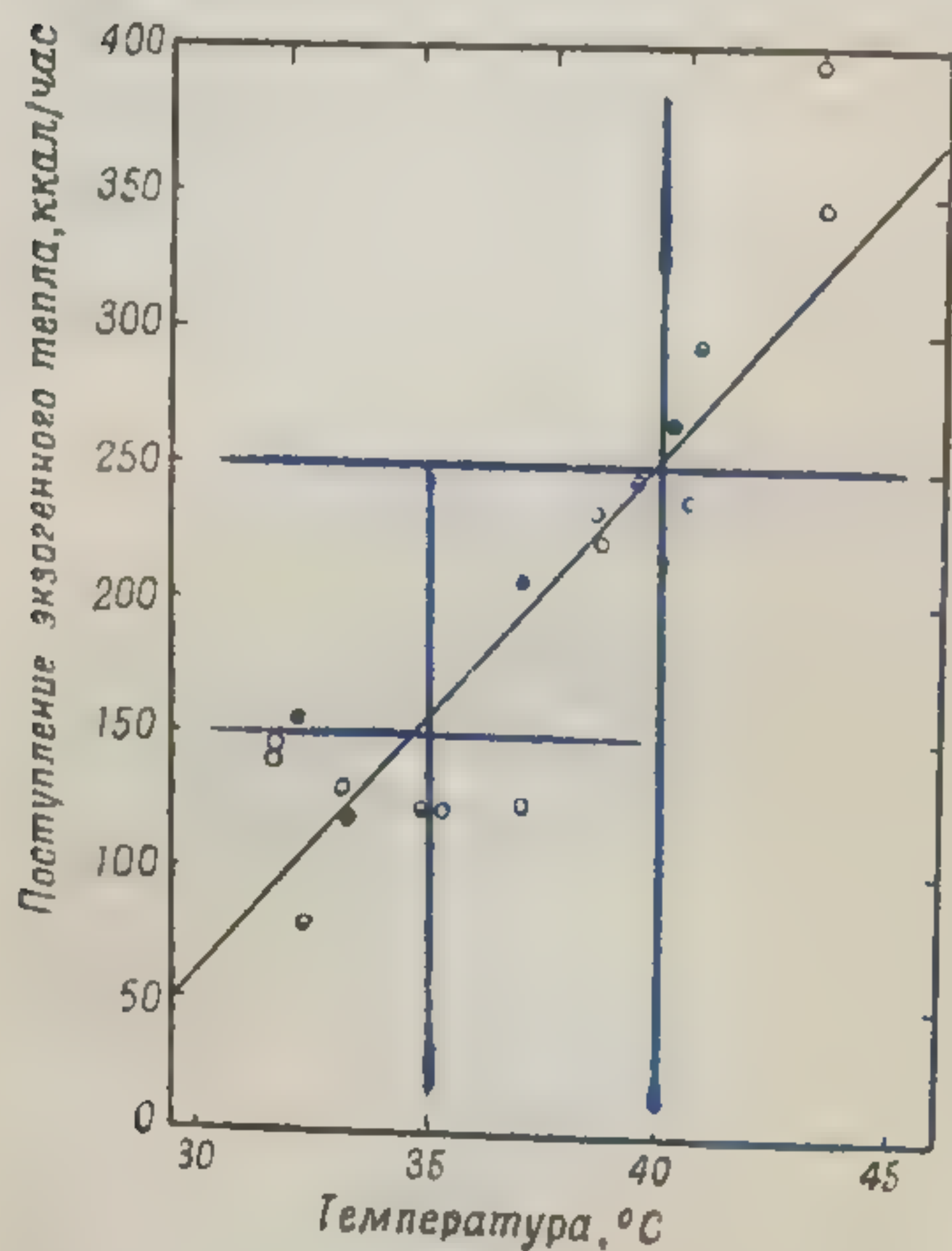
Теплообмен одетых испытуемых, находящихся на солнцепеке

График на фиг. 39 построен таким образом, что по оси ординат отложены вычисленные нами значения E для находящихся на солнцепеке одетых испытуемых, а по оси абсцисс — зарегистрированная во время экспериментов температура воздуха. Каждая точка на графике соответствует одному эксперименту над одним испытуемым. Наиболее соответствующая результатам прямая линия построена по методу наименьших квадратов¹⁾. Коэффициент корреляции для этих данных равен $+0,89$.

Судя по изображенной на фиг. 39 «средней» линии, тепловая нагрузка человека в условиях пустыни (при температуре воздуха $37,7^\circ$) за час увеличивается более чем на 200 ккал; другими словами, количество экзогенного тепла приблизительно в 2,5 раза больше количества тепла, образующегося в организме в состоянии покоя за тот же отрезок времени. При $43,3^\circ$ приток тепла извне превышает 300 ккал/час, или примерно в 3,5 раза превосходит теплопродукцию в организме в состоянии покоя. Для сравнения укажем, что одетый человек в лабораторной тепловой камере при $37,7^\circ$ получает только 17 ккал/час (температура стен камеры равна температуре воздуха, скорость ветра 0,9 м/сек), а при $43,3^\circ$ —90 ккал/час (путем экстраполяции). Дополнительная тепловая нагрузка в условиях пустыни вызывается, в основном, излучением солнца и небосвода,

¹⁾ Эти данные не доказывают, что зависимость носит линейный характер. На фиг. 39 изображена прямая линия только ради большего удобства анализа полученных результатов. В условиях лаборатории, где все климатические факторы регулируются, довольно легко показать, что E находится в линейной зависимости от температуры воздуха даже при широких пределах колебания последней, как это и следует из закона охлаждения Ньютона.

отражаемым и вторично испускаемым поверхностью почвы. Кроме того, в пустыне благодаря наличию ветра увеличивается количество тепла, поступающего путем конвекции. До сих пор еще не существует подходящего теоретического метода, который давал бы возможность, учитывая все эти климатические факторы, предсказывать суммарное количество тепла, получаемого человеком, находящимся на открытом воздухе, из окружающей среды. Выведены эмпирические формулы для определения притока тепла в организм



Фиг. 39. Поступление экзогенного тепла в организм испытуемых, находящихся в одежде на солнцепеке при различных температурах воздуха.

● — испытуемый сидит на стуле; — — испытуемый ходит; ○ — испытуемый стоит.

человека (путем излучения и конвекции), однако достоверность этих формул никем еще не проверялась при столь интенсивном теплообмене, как теплообмен в условиях пустыни. Поэтому, несмотря на то что вычисленные нами величины E имеют лишь приближенное значение, они должны представлять большой интерес для физиологов и климатологов.

На фиг. 39 многие точки отклоняются от «средней» линии больше, чем это допускается ошибкой эксперимента. Однако эти отклонения допустимы, потому что температура представляет собой только один из метеорологических факторов, влияющих на величину E . Столь высокая корреляция между E и температурой воздуха, как корреляция, указанная на графике, могла обуславливаться только относительным постоянством остальных климатических факторов (солнечного излучения, скорости ветра). Конечно, изменение погоды не является единственным источником колебаний величины E ; одежда, положение тела и физическая деятельность, хотя и стандартизированные в пределах каждого эксперимента, различались в разных опытах этой серии. Так, например, в одних случаях испытуемый сидел на деревянном стуле, в других — стоял (в обоих случаях спиной к солнцу) или шел с поклажей и без нее по ровной дороге со скоростью примерно 4,8 км/час. Поскольку площадь поверхности тела, непосредственно подвергающейся действию инсоляции, значительно меняется в зависимости от положения тела испытуемого, то мы ожидали, что E будет иметь

Мы считаем, что полученным определением, находящимся в области физической полностью одеты живающим упоминается случай, когда ющей среды при этом же песке вероятности, это нам тепла от ра Во время эти были одеты в лег к костюмам из оливово-зеленого хлопчатобумажно вискозной диагональные носили и иногда костюмы были шлемы: или материала, но бо тропические» (фи из производных и испытуемого помощи На основании ких-либо различ среды, и в велич в одежде, однако разных видов оде Поэтом, лиши для одежды легка ают на водный и

различную величину у стоящих и сидящих людей. Сравнивая идущего испытуемого со спокойно стоящим, мы ожидали, что при столь высоких температурах в первом случае движение должно увеличивать поступление тепла путем конвекции. Однако в наших материалах изменчивость климатических факторов и экспериментальная ошибка маскируют подобные явления. Все же наш метод, вероятно, был бы вполне удовлетворительным для определения того небольшого различия в количестве получаемого тепла, которое обуславливается положением тела человека и различием в одежде, если бы в нашем распоряжении было достаточно времени для проведения большого количества опытов с одновременным сравнением разных экспериментальных ситуаций.

Мы считаем, что линия, вычерченная на фиг. 39, соответствует полученным определениям, и в равной степени применима ко всем людям, находящимся в условиях пустыни, независимо от выполняемой ими физической работы и рода костюма, при условии, что они полностью одеты и находятся на солнцепеке. Единственным заслуживающим упоминания исключением из этого правила является тот случай, когда человек лежит на песке. Он получает из окружающей среды примерно на 100 ккал больше, чем человек, стоящий на этом же песке (сравнить эксперименты 1 и 2 в табл. 10). По всей вероятности, это различие, в основном, обуславливается проведением тепла от раскаленного песка.

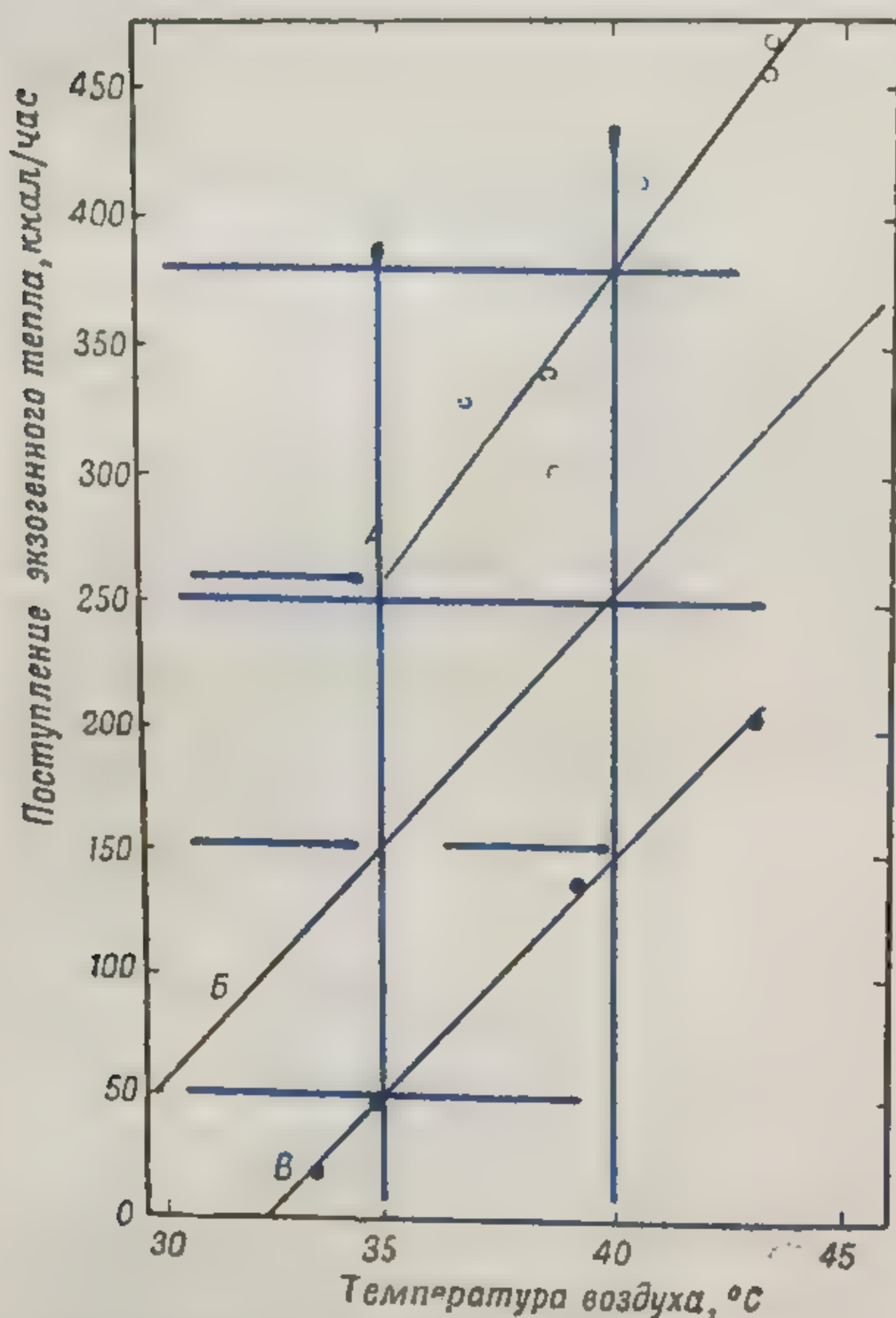
Во время этих экспериментов больше половины испытуемых были одеты в легкие костюмы, по характеру ткани и цвету близкие к костюмам из бумажной диагонали (обычная военная форма, оливково-зеленого цвета). Однако в данном случае ткань была не хлопчатобумажной, а из искусственного шелка, и мы называем ее вискозной диагональю. В нескольких опытах этой же серии испытуемые носили рубашки и трусы цвета хаки (фиг. 38, слева) и иногда костюмы из бумажной диагонали. На испытуемых всегда были шлемы: или обычные шлемы (фиг. 38, слева), или из того же материала, но большего размера, обозначаемые нами как «шлемы тропические» (фиг. 38, справа). Шлемы обоих типов были сделаны из производных целлюлозы, имели оливково-зеленый цвет и держались при помощи внутренних суконных лент так, что вокруг головы испытуемого создавалась прослойка воздуха.

На основании полученных нами данных нельзя обнаружить каких-либо различий в количестве тепла, получаемого из окружающей среды, и в величине потоотделения, обуславливаемых различиями в одежде, однако нужно указать, что непосредственного сравнения разных видов одежды под этим углом зрения нами не производилось.

Поэтому, лишь обобщая наши факты, мы можем сказать, что если одежда легка, свободно облегает тело человека и проницаема для испаряющейся воды, то различия в форме, цвете и т. п. не влияют на водный и тепловой обмен человека.

Теплообмен полуобнаженных испытуемых, находящихся на солнцепеке

В данной серии экспериментов на испытуемых были надеты только ботинки, носки и коричневые трусы. Во время опыта они сидели на деревянных ящиках высотой примерно 45 см, спиной к солнцу. Во всех случаях, за исключением одного, рядом сидел другой



Фиг. 40. Поступление экзогенного тепла в организм испытуемых среднего роста в различных условиях жизни в пустыне. А — без одежды на солнцепеке; В — в одежде на солнцепеке; В — в одежде ночью.

ветра большой, но не постоянной. Во время дневных экспериментов, проводившихся в течение 4 час. максимального солнечного излучения, солнце ни разу не закрывалось облаками и небо было почти всегда совершенно безоблачным. В табл. 101 указаны условия каждого эксперимента.

Во всех случаях тело полуобнаженного испытуемого поглощало значительно большее количество тепла, чем тело одетого испытуемого. Простые средние, вычисленные по материалам этих срав-

испытываемый, одетый в полный костюм. Результаты этих экспериментов с одновременным сравнением двух испытуемых представлены в табл. 10. Количество тепла, получаемое полуобнаженными испытуемыми, графически изображено на фиг. 40. Линия В взята из фиг. 39. Линия В отражает результаты, полученные во время похода; однако мы считаем, что при этом поступало такое же количество экзогенного тепла, как и в том случае, если бы испытуемые стояли или сидели. Температура воздуха всегда определялась по сухому термометру, находящемуся в стандартной метеорологической будке, средние величины выводились из нескольких определений, проводимых в течение каждого эксперимента. Во время всех экспериментов относительная влажность была низкой, скорость

в 10-140 км/ч
в пустыне гл. 20-30
изменяется (в т.
духа на 5.5°
Мы предполагаем

которую носили из
лет более высокие
Однако, очевидно,
сказной и бумажно
го), то мы считали,
ющего солнечного и
и сильно загоревша
70% прямых солн
способность костюм
накова или различ

Удивительно, что
же солнечной энерг
личество тепла, по
шается более чем
в 2-3 раза, на по
полуобнаженных л
в крайней мере, на
искому телу. Что
Так как теплоемко
тепла в одежд
Одновременно сре
студой, относитель
тур, значительно
иется под ней кож
ду а. В результате
у человека, по
ного таким путем
много человекам
может объяснить
на счет конвекции
поступления
и явление
определения
способами
Следственно оче
среды является
7-8

нительных экспериментов, свидетельствуют о наличии разницы в 108 ккал/час. «Средние» линии на фиг. 40 показывают разницу в 100—140 ккал/час. Следовательно, человек, снимая в условиях пустыни головной убор, рубашку и брюки, тем самым настолько увеличивает количество получаемого им тепла, насколько оно увеличилось бы при повышении температуры окружающего воздуха на 5,5°.

Мы предполагали, что ткань одежды (вискозная диагональ), которую носили испытуемые во время этих экспериментов, обладает более высокой отражательной способностью, чем их кожа. Однако, очевидно, это не так (табл. 11). Поскольку костюмы из вискозной и бумажной диагонали были одинакового цвета (оливкового), то мы считали, что они поглощают одинаковое количество падающего солнечного излучения (74%). Судя по этим данным, вероятно, и сильно загоревшая кожа «среднего» европейца поглощает до 60—70% прямых солнечных лучей. Таким образом, отражательная способность костюмов и кожи самих испытуемых совершенно одинакова или различается крайне незначительно.

Удивительно, что при ношении одежды, поглощающей столько же солнечной энергии, сколько поглощает и человеческая кожа, количество тепла, получаемого телом из окружающей среды, уменьшается более чем на 100 ккал/час. Игнорируя разницу в площади поверхности тела, защищенной от солнечного света, у одетых и полуобнаженных людей, мы сделали вывод, что одежда поглощала, по крайней мере, на 100 ккал больше тепла, чем передавала человеческому телу. Что же происходит с этим дополнительным теплом? Так как теплоемкость текстильных тканей очень низка, то накопление тепла в одежде невозможно; оно должно быть снова возвращено окружающей среде. На солнцепеке наружная поверхность просторной, относительно сухой одежды скоро приобретает температуру, значительно превышающую не только температуру находящейся под ней кожи, но также и температуру окружающего воздуха. В результате тепло передается путем проведения не только телу человека, но и окружающему воздуху. Количество переданного таким путем тепла эквивалентно уменьшению количества получаемого человеком тепла путем конвекции. Подобное толкование может объяснить, почему в пустыне наличие одежды уменьшает более чем на 100 ккал/час количество тепла, получаемого человеком за счет конвекции. Оно объясняет также, почему подобное уменьшение поступления тепла путем конвекции не происходит в тени. Подобные явления невозможно определить ни при помощи физических измерений отражательной способности, ни путем лабораторного определения количества конвекционного тепла, ни тем и другим способами вместе.

Совершенно очевидно, что вопрос о получении тепла из окружающей среды является не единственным соображением, учитываемым

Таблица 11

ОТРАЖЕНИЕ РАЗЛИЧНЫМИ ТКАНЯМИ И КОЖЕЙ ЛУЧЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ [5]

Отражающая поверхность	Весь солнечный спектр (0,3 – 2,5 μ)			Отражение отдельных участков спектра, %	
	пропускае- мое излу- чение ¹⁾ , %	отражен- ное излу- чение, %	поглощен- ное излу- чение, %	видимая область (0,3 – 0,7 μ)	инфракрас- ная область (0,7 – 2,5 μ)
Материал для рубашек слегка проницаемый	5,1	44,1	50,8	24,1	53,7
Хлопчатобумажная ткань цве- та хаки	0,0	56,3	43,7	27,8	64,5
Хлопчатобумажный перкаль белого цвета	0,5	66,8	32,7	69,3	60,2
Хлопчатобумажный перкаль цвета хаки	2,5	48,5	49,0	28,8	55,0
Хлопчатобумажный трикотаж	3,2	62,4	34,4	62,7	58,3
Хлопчатобумажная саржа					
цвета хаки	0,2	51,7	48,1	25,8	58,9
Шерстяной материал для ру- башек цвета хаки	0,1	38,9	61,0	12,1	49,0
Хлопчатобумажный материал с саржевым переплетением синего цвета	0,0	32,6	67,4	12,1	49,0
Хлопчатобумажная диагональ цвета хаки	0,1	26,3	73,6	13,3	30,2
Парусина	0,0	7,2	92,8	6,6	7,5
Кожа белая	—	45	55	—	—
Кожа среднего блондина . . .	—	43	57	—	—
Кожа смуглого брюнета . . .	—	35	65	—	—
Кожа темная (индусы)	—	22	78	—	—
Кожа темная (негры)	—	16	84	—	—

1) Пропускаемое излучение рассматривается как поглощенное кожей.

при проектировании военной формы. Помимо проблем, имеющих чисто военное (маскировка) и медицинское значение (защита от солнечных ожогов и насекомых — переносчиков инфекций), учитываются еще и другие физиологические и психологические критерии, определяющие комфорт носящих форму солдат. Инженеры [5] изучали вопросы комфорта в связи с климатическими условиями помещения, но до сих пор еще никто не попытался проанализировать эти вопросы применительно к условиям открытого воздуха.

Даже находясь на самом солнцепеке при сильном ветре, многие солдаты предпочитают снимать рубашку, хотя тем самым они увеличивают и количество тепла, получаемого их телом, и расход пота. Правда, ветер ускоряет испарение влаги с голого тела и поэ-

тому кожа становится сухой. Возможно, что именно эта сухость кожи объясняет ощущение большего комфорта, которое испытывают некоторые люди после того, как сбрасывают с себя рубашку. Человек вытирает лоб, покрытый потом, и чувствует при этом облегчение. В условиях лаборатории с ощущением комфорта наиболее явно коррелирует температура кожи [6]. Заслуживающая исследования тема указывается работой Зонне [7], изучавшего распределение поглощенной лучистой энергии в коже и подкожных тканях. Этот автор обнаружил, что температурный градиент значительно меняется в зависимости от длины волны падающего излучения; следовательно, и одежда оказывает влияние на этот градиент. Очевидно, хорошее самочувствие скорее связано именно с этим глубинным температурным градиентом, чем с температурой поверхности тела. Мы не располагаем такими данными, на основании которых можно было бы решить, лучше ли в условиях пустыни быть одетым или обнаженным? Результаты наших полевых исследований показывают, что любая одежда в условиях пустыни на солнцепеке способствует значительному уменьшению как получаемого человеком экзогенного тепла, так и расходуемой организмом воды.

Поступление в организм человека лучистого тепла в условиях пустыни

К нашей удаче, однажды ночью температура воздуха в пустыне и скорость ветра достигли такого же высокого уровня, как и в обычное дневное время. Результаты произведенного нами этой ночью измерения величины E представлены на фиг. 40 (линия B). Во время этого ночного эксперимента испытуемый совершил пеший переход, причем, согласно данным наших исследований, выполненных на одетых людях, находящихся на солнцепеке, можно было бы ожидать, что в этом случае он должен получить такое же количество экзогенного тепла, как если бы он спокойно сидел или стоял на солнцепеке. Конечно, теплообмен в ночное время менее интенсивен, чем днем (меньше на 100—160 ккал/час), даже при одинаковой температуре воздуха. В отношении общего количества получаемого человеком тепла ночь равноценна солнечному дню, температура воздуха которого на 5—7° ниже ночной температуры. При 32,2° (экстраполяция) теплоотдача путем испарения в ночное время равнялась теплопродукции плюс накопление тепла в организме ($E = 0$). Это не значит, что при такой температуре вообще не происходит теплообмена с окружающей средой, а лишь указывает на то, что итог перемещения тепла был равен нулю. Так, например, при любой температуре воздуха тело человека ночью излучает тепло вверх, в направлении небосвода. При 32,2° эта отдача тепла совершенно точно восполняется поступлением тепла из воздуха путем конвекции и от почвы путем излучения.

Практически тело человека, так же как и почва, круглые сутки отдает тепло излучением. Эта огромная потеря энергии за счет длинноволнового излучения не зависит от поступления коротковолнового солнечного излучения как прямого, так и непрямого (в виде рассеянного излучения небосвода). Теоретически величина этой общей теплопотери, происходящей путем излучения, зависит, с одной стороны, от средней температуры кожи, а с другой — от влажности воздуха и облачности неба. Согласно неопубликованным данным, она оценивается для обнаженного человека в 100 ккал/час . Однако не известно ни одного экспериментального измерения этого излучаемого тепла. Хотя мы и признаем наличие подобного способа отдачи тепла, но не учитываем его во всех наших рассуждениях, во-первых, потому, что не располагаем точными данными, и, во-вторых, потому, что эта потеря приблизительно компенсируется в течение дневных часов излучением, идущим от небосвода. Поскольку величина теплопотери поддается оценке, постольку наши определения значения E показывают достаточно точную величину получаемого человеком тепла.

На фиг. 40 разница между линиями A и B составляет примерно 200 ккал/час . Мы считаем, что эта цифра определяет общее количество лучистого тепла, получаемого в пустыне обнаженным человеком, находящимся под непосредственным действием солнечного излучения. При таком методе определения многое остается не совсем ясным, но, по крайней мере, полученные при его помощи данные указывают, что 300 ккал/час является завышенной цифрой, а 100 ккал/час — слишком низкой. Так как, по опубликованным данным, тепловая нагрузка человека колеблется в очень широких пределах (при условии, что отражательная способность кожи равна нулю), то приближенность наших определений понятна. Вообще же, несмотря на точность определения общего количества получаемого тепла, наш метод измерения не дает возможности измерять составные компоненты E .

Недавно Блюм [8] определил количество лучистого тепла, получаемого обнаженным человеком, как произведение трех следующих величин: 1) интенсивности прямого солнечного излучения при перпендикулярном падении лучей, 2) проекции поверхности человеческого тела в направлении нормали падения солнечных лучей и 3) части солнечной энергии падающего излучения, в среднем поглощаемой кожей. При этом для определения количества лучистой солнечной энергии он пользовался данными радиометрических измерений, наиболее типичными для условий пустыни (табл. 12).

Проекция поверхности тела определялась им для «среднего» обнаженного человека с площадью поверхности тела в $1,7 \text{ м}^2$. Коэффициент 0,43 был принят как показатель того, какая часть падающего солнечного излучения поглощается в среднем светлой

кожей. Кроме к
солнечного излу
ступающего за с
чая излучение
сивность излуче
т-сивности пря
женита находитс
величину дифф
в пустыне обла
почвы составля
чтобы перевести
сивность лучеис
нагрузки, Блюм
которая подвер
тепла, когда че
положениях, а
таты приводятс
По данным э
ег в условиях
угла зенита сол
тепла $24-72\%$
причем в усло
песка, иногда п
Выводенные Б
совпадают с на
спериментов в

Таблица 12

ЭНЕРГИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, $\text{ккал/м}^2/\text{мин}$

Угол зенита, градусы	Длина волны ¹⁾			
	весь спектр	весь спектр, за исключе- нием видимой области	0,7—0,9 μ	0,9—1,2 μ
0 ²⁾	14,7	8,7	5,0	2,7
0 ³⁾	13,2	7,3	3,9	1,9
60 ³⁾	10,6	5,2	3,3	1,5

¹⁾ Видимый спектр находится в пределах длин волн 0,4—0,7 μ .

²⁾ Сухой воздух: 2,8 мм озона, 300 частиц пыли на 1 см³ воздуха.

³⁾ 20 мм воды, 2,8 мм озона, 300 частиц пыли на 1 см³ воздуха.

кожей. Кроме количества тепла, получаемого непосредственно от солнечного излучения, Блюм определил и количество тепла, поступающего за счет диффузного отражения от небосвода (исключая излучение солнца). В совершенно безоблачный день интенсивность излучения небосвода составляет примерно 15% интенсивности прямого солнечного света при условии, если угол зенита находится в пределах 0—60°. И, наконец, Блюм определил величину диффузного излучения почвы. Считается, что песок в пустыне обладает альбедо 0,25 (т. е. что диффузное отражение от почвы составляет 25% падающей солнечной энергии). Для того чтобы перевести эти физические данные, характеризующие интенсивность лучеиспускания, в физиологические показатели тепловой нагрузки, Блюм определял ту площадь тела обнаженного человека, которая подвергается действию каждого компонента лучистого тепла, когда человек находится в вертикальном и горизонтальном положениях, а углы зенита равны 0 и 60°. Полученные им результаты приводятся в табл. 13.

По данным этой таблицы, стоящий обнаженный человек получает в условиях пустыни 218—234 ккал/час лучистого тепла (когда угол зенита солнца находится между 0 и 60°). Из этого количества тепла 24—72% приходится на долю прямого солнечного света, причем в условиях пустыни количество тепла, отражаемого от песка, иногда превышает количество тепла солнечного излучения. Вычисленные Блюмом общие количества лучистого тепла вполне совпадают с нашими данными, полученными при проведении экспериментов в полевых условиях. Относительное постоянство цифр

Таблица 13

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛА, ПОЛУЧАЕМОГО ОБНАЖЕННЫМ
ИСПЫТУЕМОМ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ
В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ¹⁾ ккал/час НА ЧЕЛОВЕКА
(По Блюму)

Положение испытуемого	Угол зенита, градусы	Тепло прямо- го солнечного излучения	Тепло солнечного излучения		
			отражае- мого от неба	отражае- мого от почвы ²⁾	общее ко- личество тепла
Вертикальное . .	0	54	68	96	218
	60	160	27	38	224
Горизонтальное (ле- жит ничком) . .	0	230	68	40	338
	60	92	27	16	135

¹⁾ Атмосферные условия были следующими: 20 мм воды, 2,8 мм озона, 300 частиц пыли на 1 см³ воздуха; предполагается, что 43% всего солнечного излучения отражается телом человека.

²⁾ Альбедо почвы принимается равным 0,25.

в случае вертикального положения испытуемого объясняет, почему нам не удалось обнаружить зависимости между количеством тепла, поступающего из внешней среды, и временем дня (в пределах 4 час. пребывания солнца в зените).

Практические приспособления для затенения в различной степени защищают от отдельных компонентов лучистого тепла, но все они предохраняют от прямого солнечного излучения. Следует отметить, что при температуре воздуха пустыни использование любого предмета для защиты от солнечных лучей вводит новый фактор, а именно: тепловое излучение от этого предмета. В наших экспериментах мы для создания тени пользовались парусиновыми палатками. Испытуемый в одежде сидел на ящике в палатке блеклооливого цвета, длиной около 6 м, а его партнер, также в одежде, находился в аналогичном положении вне палатки, на солнцепеке. Для того чтобы свести до минимума различие в конвекции, полы палатки закручивались и привязывались на высоте около 12 см. В результате двух экспериментов (одновременно исследовались оба испытуемых) оказалось, что испытуемый, находившийся в тени, получил в одном случае на 114, а в другом на 72 ккал/час меньше тепла, чем контрольный испытуемый (эксперименты 13—14 и 15—16 в табл. 10).

Эта разница значительно меньше общего количества лучистого тепла, получаемого обнаженным человеком (см. табл. 13), отчасти потому, что наши испытуемые во время эксперимента были одеты; человеку, находящемуся на солнцепеке, одежда приносит гораздо больше пользы, чем человеку, находящемуся в тени. Тень наиболее важна для обнаженного человека, однако трудно ожидать, чтобы при ее помощи можно было достигнуть уменьшения притока тепла больше чем на 200 ккал/час, так как ни одна палатка полностью не защищает от излучения небосвода и почвы, а ее нагретые стены излучают вполне измеримое количество тепла.

В том случае, когда человек лежит прямо на земле, тень является особенно важной защитой, потому что она предохраняет его от поступления тех 100 ккал/час, которые он должен был бы получить за счет проведения от горячего песка. В экспериментах 17 и 18 одетый испытуемый, лежавший на песке в военной походной палатке, получил на 146 ккал/час меньше тепла, чем контрольный испытуемый, лежавший на песке на солнцепеке.

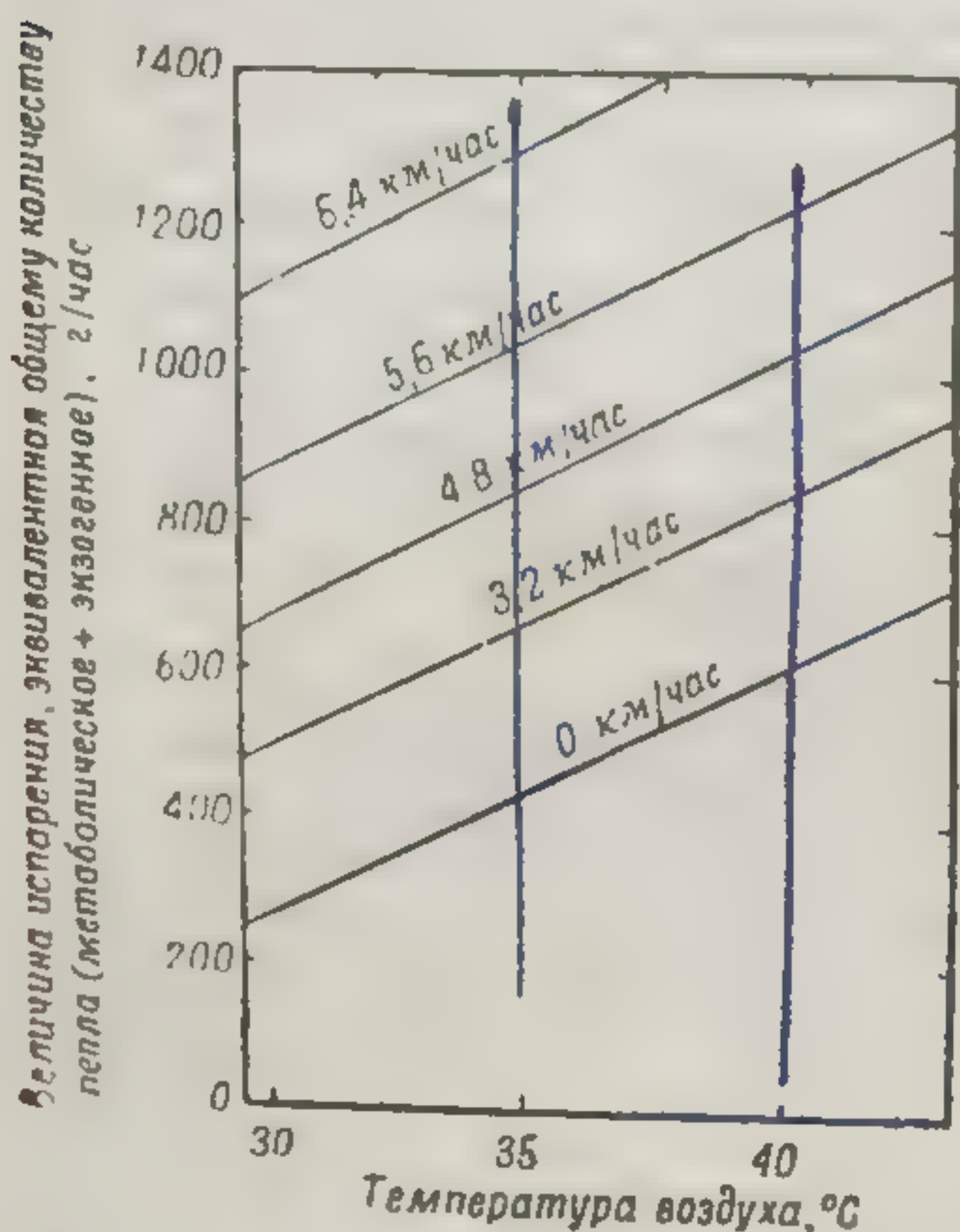
Зависимость между количеством тепла, поступающим из окружающей среды, и потоотделением

Так как каждое определение количества тепла, получаемого испытуемым из внешней среды (E), требует различных длительных операций, то произведенные нами измерения крайне немногочисленны. Однако их результаты подтверждаются выводами, сделанными на основании наших обширных полевых исследований потоотделения (см. главу IV). Так, например, величину E можно определить с достаточной точностью путем вычитания M (теплопродукция организма) из L (теплоотдача путем испарения). В большинстве случаев можно, не совершая при этом сколько-нибудь серьезной ошибки, не учитывать в балансе теплообмена количество тепла, аккумулируемое телом человека. Этот метод определения E совершенно законен, ибо величина M не зависит от обычных имеющих место в пустыне вариаций климатических факторов. Он имеет большое практическое значение, потому что в различных опубликованных в печати материалах приводятся величины M для самых разнообразных видов физической деятельности.

Для иллюстрации мы перевели величину потоотделения, указанную на фиг. 26, в соответствующее ей количество тепла, получаемого из окружающей среды. В результате этого мы получили соотношение между E и температурой воздуха, вполне совпадающее с экспериментальными данными, на основе которых построена фиг. 40. Для одетых людей, находящихся на солнцепеке в покое, как прямая фиг. 40, так и прямая, построенная по материалам фиг. 26 (при условии, что $M = 90$ ккал/час), имеют наклон,

соответствующий 11—12 ккал/час на каждые $0,5^\circ$ повышения температуры воздуха; при $37,7^\circ$ обе ординаты отличаются только на 28 ккал/час. Это совпадение вместе с достаточно обширным материалом, изложенным в главе IV, увеличивает достоверность наших относительно немногочисленных определений количества тепла, получаемого человеком из окружающей среды.

Напротив, величину потоотделения можно вычислить по эмпирически измеренной величине E . Примером подобного вычисления



Фиг. 41. Величина потоотделения, компенсирующая общий приток тепла (тепло, образующееся в организме, плюс экзогенное тепло) у испытуемых, идущих днем с различной скоростью при разной температуре воздуха.

этому определению, величина потоотделения у человека, идущего со скоростью 5 км/час, приблизительно равна изображенной на фиг. 26 величине потоотделения у идущих испытуемых. Для тех условий, в отношении которых мы пока не располагаем данными соответствующих полевых измерений, величину потоотделения можно определить (зная величину E) таким образом, как это сделано на фиг. 41.

Есть только одно серьезное ограничение для использования этого способа определения E , а именно: неполное испарение. Например, испытуемый Б (вес 64 кг) днем при температуре воздуха 40° , обнаженный до пояса, бегал по солнцепеку в течение 30 мин. — максимум его выносливости в этих условиях. В среднем теплопро-

может служить определение величины потоотделения в зависимости от скорости ходьбы. В опубликованной в 1912 г. работе Брезина и Колмера [9] приведены точные определения интенсивности обмена веществ у «среднего» испытуемого во время ходьбы с разной скоростью по твердой, ровной дороге. К каждому значению M , взятому из этой работы, мы прибавляем количество тепла, получаемое из окружающей среды «средним» одетым испытуемым, находящимся на солнцепеке (по данным фиг. 40). Испарение, в тепловом отношении эквивалентное этой суммарной тепловой нагрузке, графически представлено на фиг. 41 как переменная, зависящая от температуры воздуха и скорости передвижения. Если испарение является полным и если не имеет место накопление тепла в теле, ордината фиг. 41 представляет собой меру потоотделения. Согласно

Измерени
на, показали
находясь на
несколько бо
на каждые 0
ком, возраста
быть отдале
человека вод
испарения т
среды), так
иссов мстае

дукция его организма составляла 680 ккал/час (такое же количество тепла производится при ходьбе со скоростью примерно 7 км/час), а ректальная температура во время бега поднялась у него на $2,5^{\circ}$, что соответствует аккумуляции 130 ккал. В результате расчета, произведенного на основании данных фиг. 40 указанным выше способом, и поправки на количество тепла, накопленного в теле, оказалось, что потоотделение у испытуемого составляло 1,300 л/час. Однако потеря веса тела у него составляла 1,690 л/час (не считая количества влаги, впитавшейся в ткань брюк). Разница в 200 г за время всего эксперимента, очевидно, обуславливается количеством пота, стекавшего на землю. Действительно во время этого эксперимента бросалось в глаза обилие выделяемого пота; при последнем взвешивании испытуемого пот даже капал на весы. Этот пример показывает, каких огромных размеров может достигать потоотделение при тяжелой физической нагрузке даже в условиях сухой атмосферы пустыни с присущими последней сильными ветрами (относительная влажность воздуха 32%; скорость ветра 4,5 м/сек). Во всех тех случаях жизни в пустыне, когда человеку для сохранения теплового баланса необходимо испарение воды выше 1,200—1,500 л/час, выделение пота происходит значительно интенсивнее, чем его испарение. Все укрытия, предохраняющие от солнечных лучей, сильно понижают потоотделение, и, для того чтобы предсказать, каков будет при этом расход пота, нужно тщательно проанализировать все детали, учитывая опыт работы в условиях пустыни.

легче!

Когда мы хотим заранее предсказать величину потоотделения при слабом теплообмене, перед нами возникают новые трудности. Если температура воздуха ниже $32-35^{\circ}$, то, очевидно, по мере охлаждения окружающего воздуха понижается и средняя температура кожи. Следовательно, по крайней мере теоретически, наклон линий на фиг. 40 ниже пределов колебания температур, имевших место во время эксперимента, должен быть менее крутым.

Выводы

Измерения, произведенные непосредственно в условиях пустыни, показали, что при температуре воздуха $37,7^{\circ}$ одетый человек, находясь на солнцепеке, в среднем получает из окружающей среды несколько больше 200 ккал/час. С повышением температуры воздуха на каждые $0,5^{\circ}$ количество экзогенного тепла, получаемого человеком, возрастает на 12 ккал/час. В условиях пустыни это тепло может быть отдано только путем испарения содержащейся в организме человека воды. При отсутствии накопления тепла в теле в процессе испарения теряется тепло как полученное извне (из окружающей среды), так и продуцируемое в самом организме (в результате процессов метаболизма).

Количество экзогенного тепла, получаемого находящимся на солнцепеке одетым человеком, почти не зависит от его деятельности, так как ходившие, стоявшие или сидевшие на стульях испытуемые получали одинаковое количество тепла из окружающей среды. Однако человек, лежащий на земле, получает в час приблизительно на 100 ккал больше тепла, что объясняется проведением тепла от горячего песка. Если испытуемый снимает с себя одежду, количество получаемого им тепла возрастает на 100—140 ккал/час (что соответствует повышению температуры воздуха на $5,5^{\circ}$). Поскольку одежда, которую носили испытуемые во время этих экспериментов, обладала приблизительно такой же отражательной способностью, как и сильно загоревшая кожа, ее защитное действие, в основном, заключалось в уменьшении количества тепла, получаемого путем конвекции.

Обнаженный человек получает за счет солнечного излучения, как прямого, так и непрямого, примерно 200 ккал/час (т. е. $\frac{2}{3}$ всего количества тепла, поглощаемого из окружающей среды при $37,7^{\circ}$).

Тень является прекрасной защитой от этой лучистой энергии, особенно для обнаженного человека и для человека, лежащего на песке. Одетый человек, сидя на солнцепеке, поглощает на 100 ккал/час больше тепла, чем в тени. В ночное время интенсивность обмена лучистого тепла у человека минимальна. В смысле суммарного количества тепла, получаемого одетым человеком, ночь эквивалентна солнечному дню с температурой воздуха на $5-7^{\circ}$ ниже ночной температуры.

Определение количества тепла, получаемого из внешней среды (E), можно использовать при решении самых разнообразных вопросов:

1. Величина E характеризует тяжесть жары и служит объективным критерием увеличения тепловой нагрузки человека за счет тепла, получаемого из внешней среды.

2. Поскольку одежда, укрытия от солнца и снаряжение являются составными частями окружающей человека среды, величина E представляет собой ценный критерий при проектировании и выборе всех этих предметов.

3. Так как величина E обуславливается климатическими факторами, влияющими на потоотделение, то ее определение помогает выяснить потребность человека в воде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adolph E. F., *Am. J. Physiol.*, 123, 486 (1938).
2. Carpenter T. M., *Tables, Factors and Formulas for Computing Respiratory Exchange*, 3d ed., Table 13, Washington, D. C., p.104, 1939 (Carnegie Institution of Washington, Publication № 303B).

3. Du Bois E. F., Basal Metabolism in Health e and Disease, 3d ed. rev. Philadelphia, Lea & Febiger, p. 424, 1936.
4. Gagge A. P., Winslow C. E. A., Herrington L. P., *Am. J. Physiol.*, 124, 30 (1938).
5. Houghton F. C., Yagaglou C. P., *J. Am. Soc. Heat & Ventil. Engin.*, 29, 515 (1923).
6. Winslow C. E. A., Herrington L. P., Gagge A. P., *Am. J. Hyg.*, 26, 103 (1937).
7. Sonne C., *Acta med. Scandinav.*, 54, 336 (1921); *Acta radiol.*, 5, 419 (1926) (см. также Laurens H., The Physiological Effects of Radiant Energy, New York, Chemical Catalogue Co., p. 103, 1933).
8. Blum H. F., *J. Clin. Investigation*, 24, 712 (1945).
9. Brezina E., Kolmer W., *Biochem. Ztschr.*, 38, 129 (1912).

Глава VI

ВЫВЕДЕНИЕ С МОЧОЙ ВОДЫ И СОЛЕЙ

До сих пор мы рассматривали только один путь выведения воды из организма человека — через потовые железы. Как мы отмечали, величина потоотделения почти всецело определяется потребностью в отдаче тепла путем испарения воды. Теперь мы остановимся на вопросе выведения воды с мочой.

В умеренном климате почти половина всей воды, выводимой из организма человека, входит в состав мочи; в условиях жаркой пустыни дело обстоит иначе. Означает ли относительно низкая экскреция мочи в условиях пустыни, что ее образуется меньше, или это является лишь простым отражением чрезвычайно сильного увеличения количества образуемого пота? Как велик объем мочи? Не появляются ли в пустыне признаки уремии? Дает ли подавление образования мочи какие-либо возможности в смысле экономии воды, содержащейся в организме? Путем проведения соответствующих экспериментов мы пытались ответить на все эти вопросы.

Вообще мочу нужно рассматривать как жидкость, состоящую из веществ, содержащихся в организме человека в избытке. Следовательно, достаточное содержание в теле человека различных веществ, среди которых важное место занимают хлориды, определяется наличием каждого из них в моче. Кроме того, можно изучить и скорость выведения определенных веществ. Проведенные нами исследования ставили своей целью выяснить все эти вопросы на нормальных и испытывающих дегидратацию людях как в условиях самой пустыни, так и в тепловой камере, в лабораторной обстановке.

Мочеотделение

У людей, живших в пустыне в течение жаркого времени года (сентябрь 1942 г.), за сутки выделялось в среднем 935 см^3 мочи (табл. 14). Некоторые пробы мочи были собраны самими испытуемыми, которые могли небрежно отнестись к этому делу. Однако о достоверности измеренных ими объемов мочи свидетельствует тот факт, что всегда наблюдалась обратная зависимость между объемом мочи и ее удельным весом (фиг. 42).

Наша цель заключалась в том, чтобы выяснить, в какой степени может меняться объем выделяемой мочи в зависимости от разных

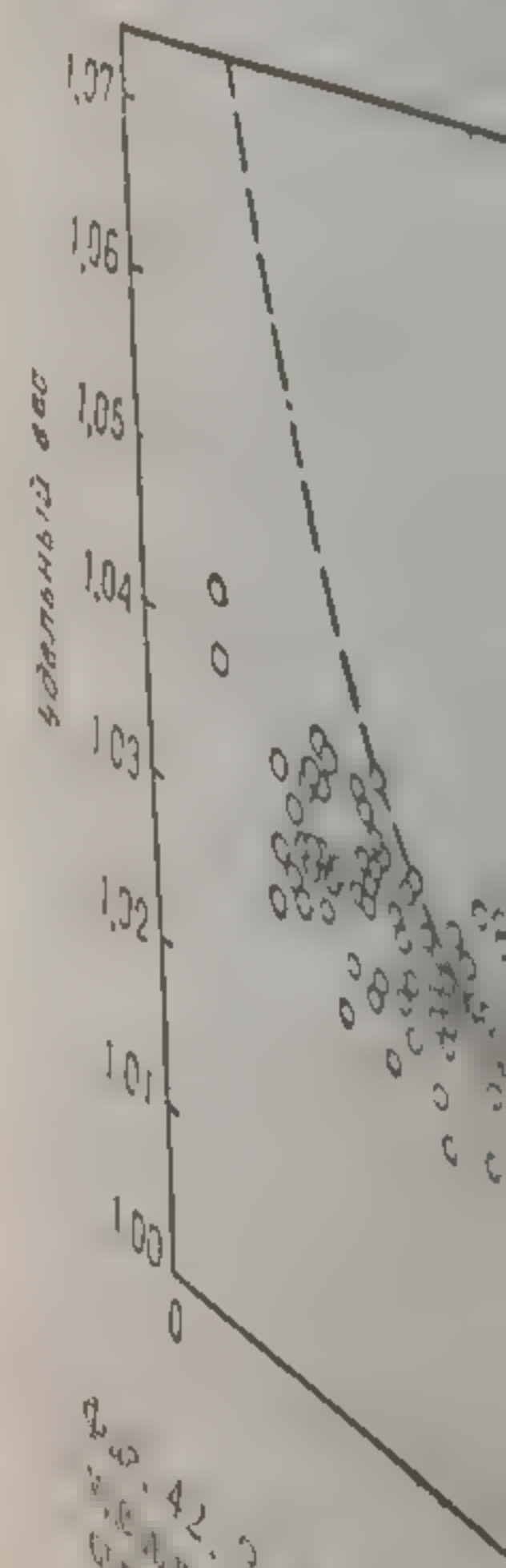


Таблица 14

КОЛИЧЕСТВО ВЫПИТОЙ ВОДЫ И КОЛИЧЕСТВО ВЫВЕДЕННОЙ МОЧИ
(за 24 часа)

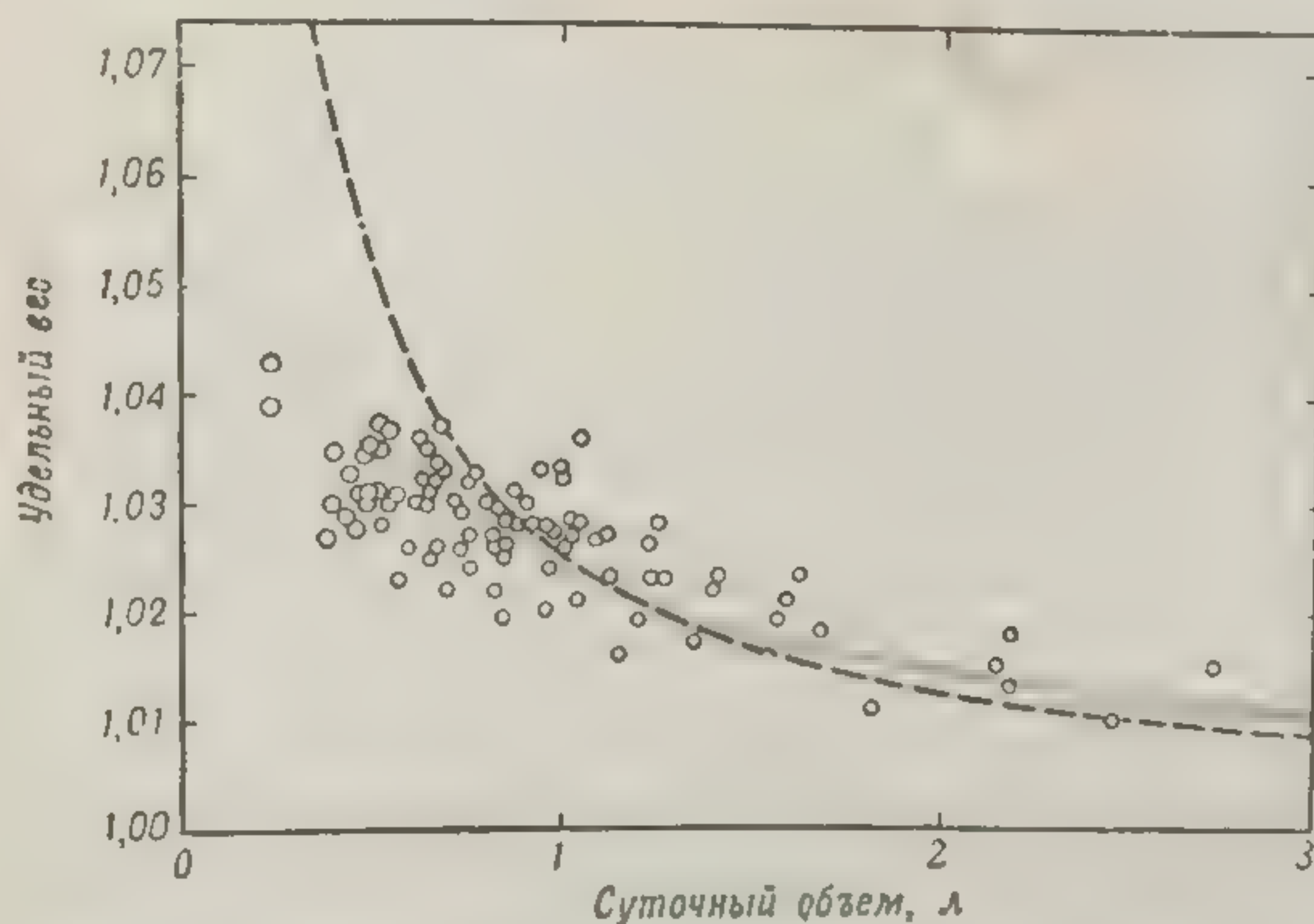
	Число проб	Число испытуемых	Средняя величина	Стандартное отклонение
--	------------	------------------	------------------	------------------------

В пустыне (сентябрь 1942 г., максимальная суточная температура в среднем 39,4°)

Выпито жидкости	97	—	5,905 см ³	± 2,029 см ³
Выделено мочи	111	91	935 "	± 490 "
Удельный вес при 19,4°	91	66	1,0273	± 0,0064 "
Количество хлоридов, выведенных с мочой	27	—	116 мэкв	—
Концентрация хлоридов в моче	41	21	125 мэкв/л	—

В тепловой камере (максимальная суточная температура в среднем 50,5°)

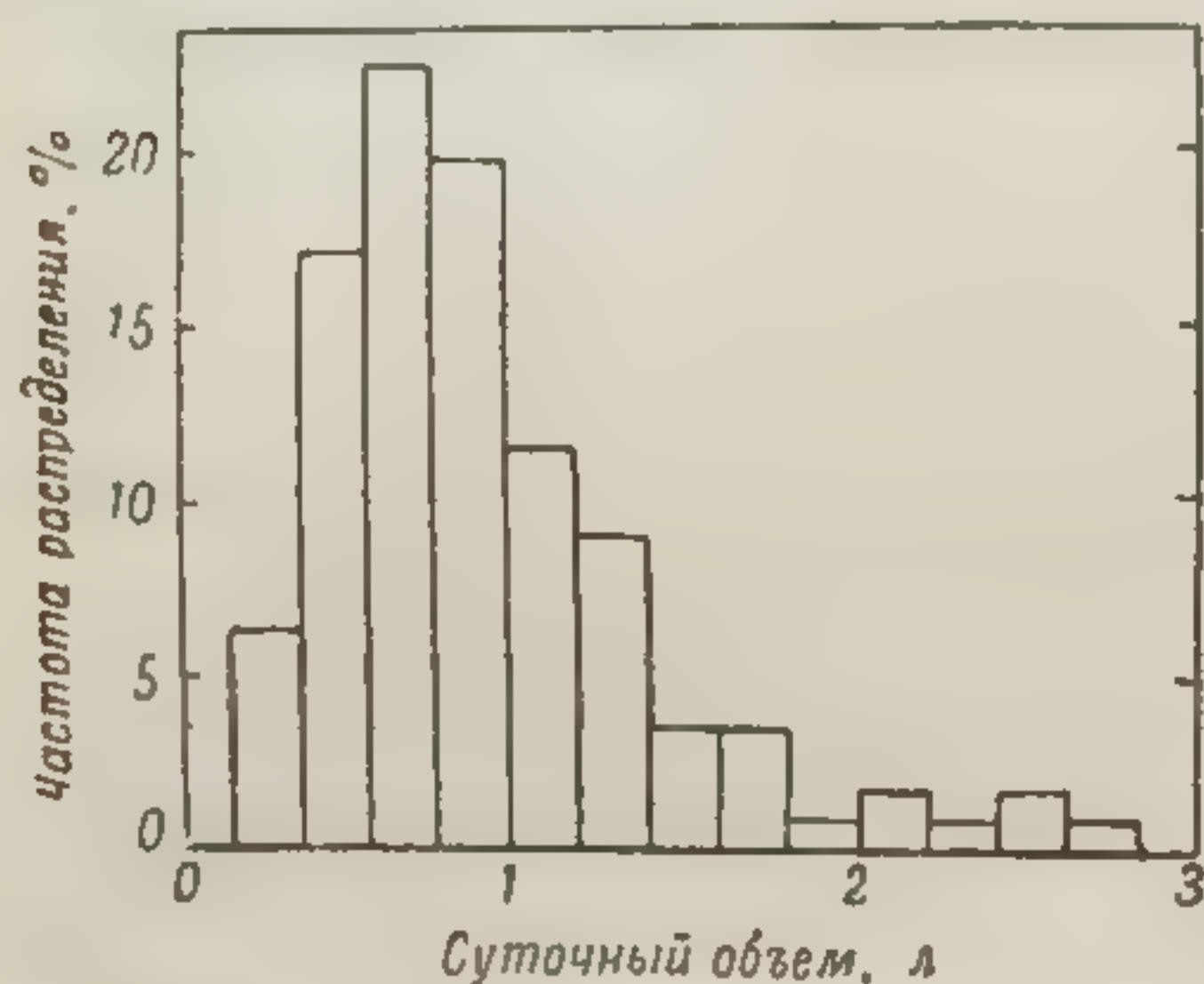
Выделено мочи (питье не ограничено)	6	5	709 см ³	—
Выделено мочи (без приема воды)	10	3	714 "	—
Удельный вес при 19,4°	16	7	1,033	—



Фиг. 42. Зависимость между суточным объемом мочи и ее удельным весом. Каждый кружок соответствует одному определению. Пунктирная линия представляет собой гиперболу, построенную на основании средних данных. По этой гиперболе располагаются точки, соответствующие выведению равных количеств растворимых веществ в различных объемах мочи.

режимов и различной деятельности человека в пустыне. Оказалось, что за сутки выделялось $230-2730 \text{ см}^3$ мочи (фиг. 43), причем максимальная экскреция соответствует случаям чрезмерного потребления различных напитков на привалах перед сном.

В среднем количество выделяемой мочи (935 см^3 в сутки) в пустыне меньше, чем в умеренном климате, и соответственно этому средний удельный вес ее больше (1,027). Эти факты свидетельствуют о том, что даже организм людей, имеющих в своем распоряжении достаточное количество воды, все же до некоторой степени находится в состоянии обезвоживания. Они также подтверждают представление о том, что для стимуляции приемов больших количеств воды,



Фиг. 43. Частота распределения различных суточных объемов мочи у испытуемых в пустыне (111 определений).

предположить, что в прохладные часы, когда организм испытуемого снова насыщается водой, он должен выделять большее, чем обычно, количество мочи. Однако подобные случаи очень редки, ибо обычно за 24 часа выпивается такое количество воды, которое возмещает только минимальный расход мочи и пота.

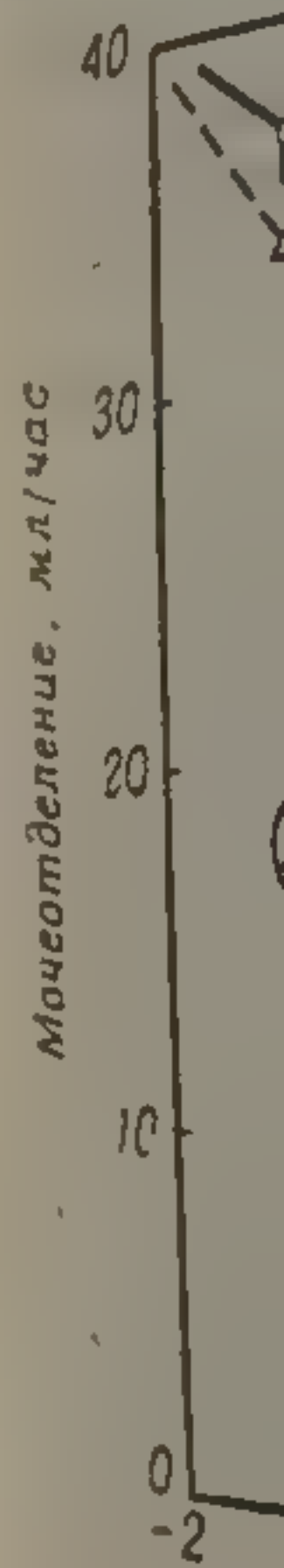
Объем мочи, выделяемой в пустыне испытуемыми, лишенными воды в дневное время в течение 4 час., незначительно отличается от указанного выше среднего суточного объема (935 см^3). В лабораторных условиях испытуемые, лишенные воды в течение 8—12 час., выделяли в сутки 714 см^3 мочи — в среднем столько же, сколько выделяли испытуемые, получавшие воду в неограниченном количестве. Это свидетельствует о том, что временное лишение испытуемых воды не снижает заметным образом величину мочеотделения.

Мы измеряли также количество мочи, выделяемой за короткие отрезки времени (1 час). В течение первых часов пребывания в условиях высокой температуры количество выделяемой мочи постепенно уменьшалось независимо от того, были ли испытуемые совершенно лишены воды или получали ее в неограниченном количестве. Однако, если во время пребывания в условиях высокой температуры испыту-

компенсирующих громадные потери пота, необходим некоторый дефицит воды в организме человека.

В лабораторных условиях испытуемые, находившиеся в течение 12 час. в тепловой камере ($44,5-51,6^\circ$) и пившие воду в неограниченном количестве, выделяли в сутки 709 см^3 мочи. Таким образом, в данном случае количество выделяемой мочи было ближе к минимальному, чем в условиях пустыни, а колебания — значительно меньше.

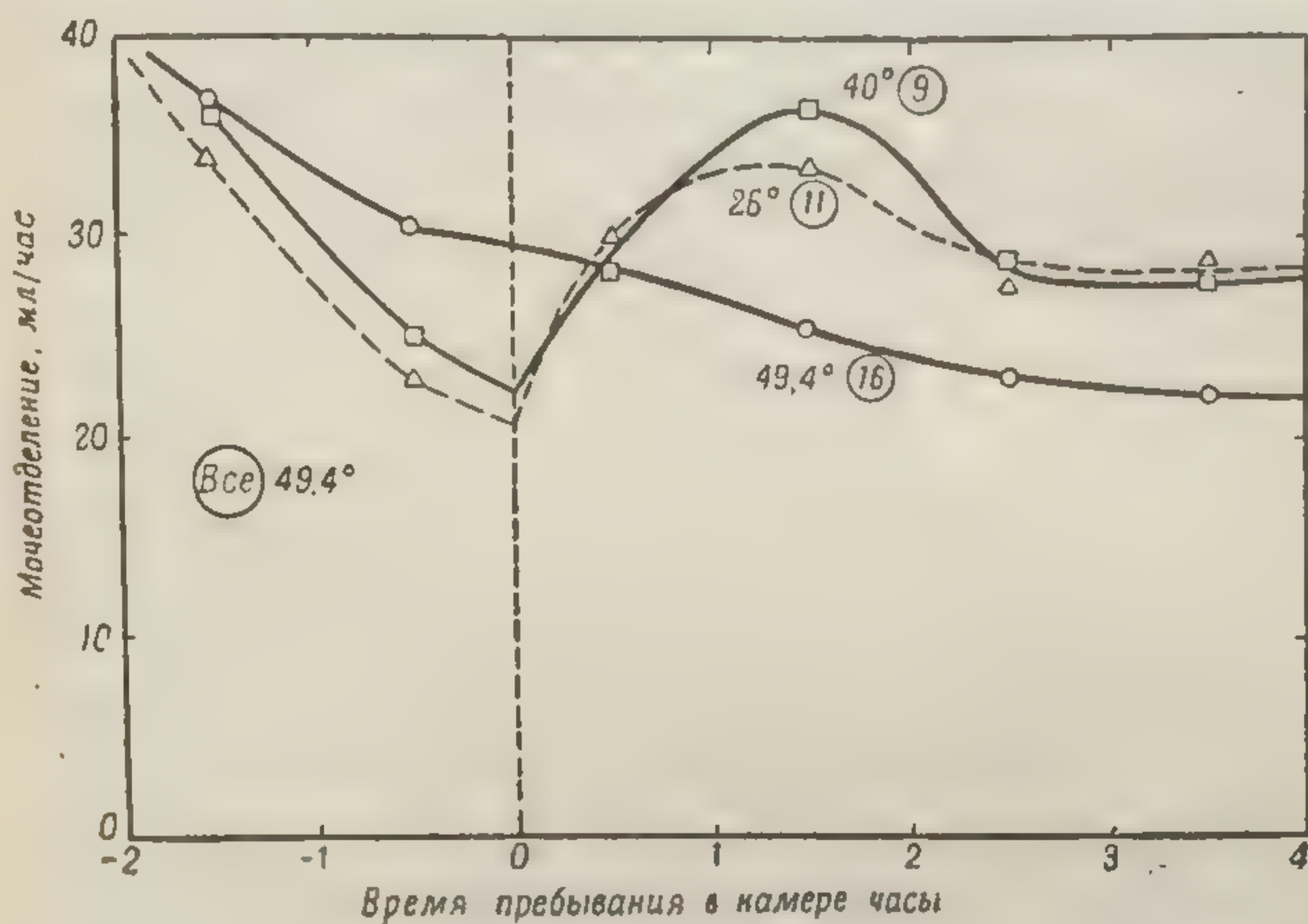
Непосвященный человек может



Фиг. 44. Мочеотделение во время пребывания в тепловой камере.

с мочой. Это в лабораторных условиях. У 7 человек в камере мочи сохранилось в количестве 2—3 часа. В лаборатории

емые периодически пили воду в количестве, эквивалентном потере веса тела, то объем выделяемой мочи уменьшался в меньшей степени; в некоторых экспериментах объем выделяемой мочи даже увеличивался, полиурия начиналась после 4—6-часового пребывания в условиях высокой температуры. Экспериментально полиурию в условиях высокой температуры можно вызвать, давая испытуемым избыточное количество воды; причем при более высокой температуре этот избыток должен быть больше, ибо в противном случае вода потратится на образование пота раньше, чем выделится



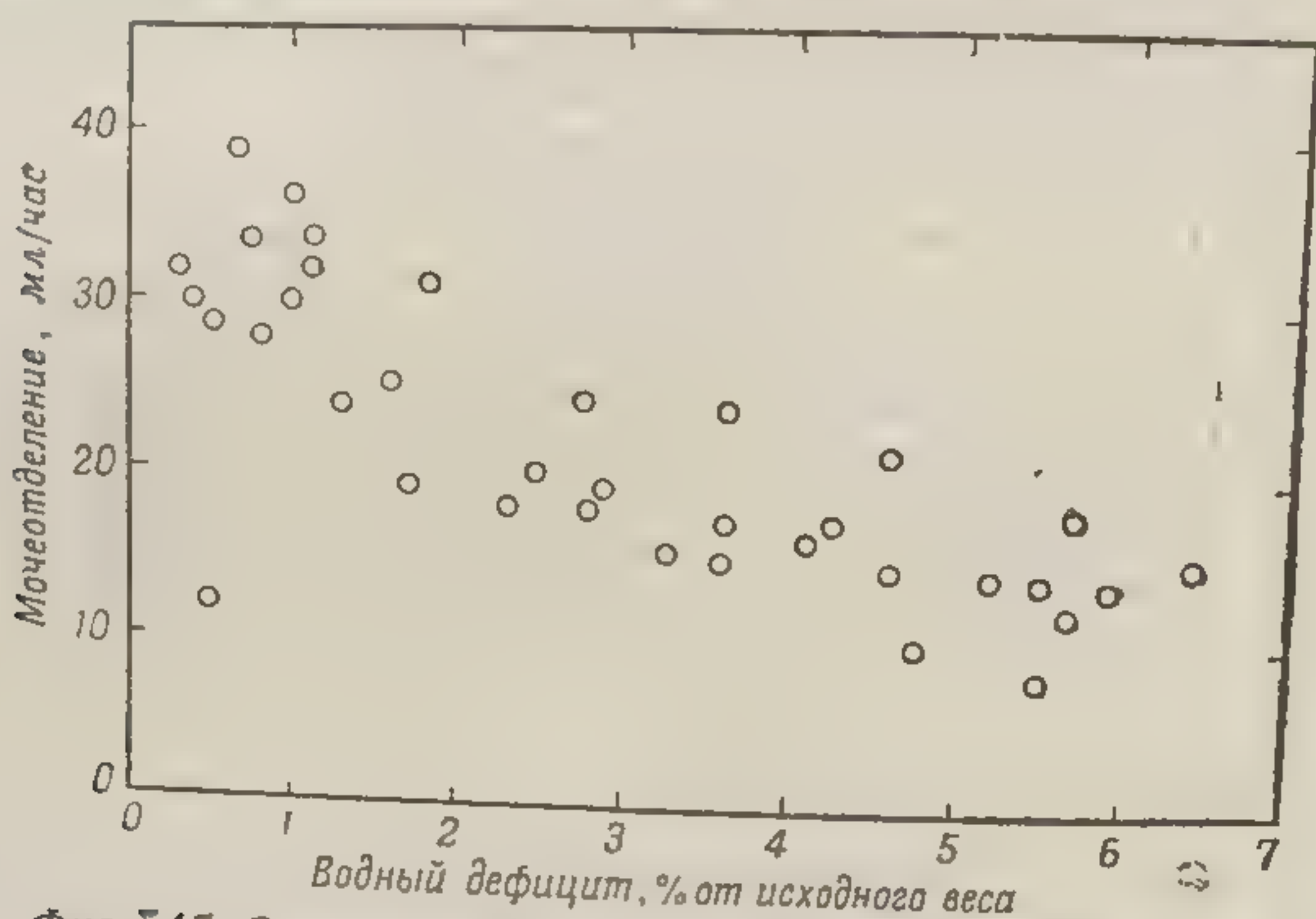
Фиг. 44. Среднее количество выделенной мочи (у 5 испытуемых) во время экспериментов с обезвоживанием организма. После 3—5 час. пребывания в тепловой камере при температуре 49,5°; в некоторых экспериментах температуру меняли на 40° или на 26,5°. Цифры в кружках указывают число экспериментов.

с мочой. Эти факты были установлены нами как в полевых, так и в лабораторных условиях.

Теперь нужно сказать несколько слов о минимальном объеме мочи. У 7 испытуемых после нескольких часов пребывания в тепловой камере выделялось 10—20 см³/час мочи. Столь небольшой объем мочи сохранялся и в течение последующих часов. На количество выделяемой мочи может оказывать влияние и интенсивность потоотделения; у испытуемых, попавших после пребывания при температуре 49,4° в более прохладную атмосферу, обычно в течение 2—3 часов наблюдается выделение большего (часто вдвое) количества мочи (фиг. 44). Очевидно, выделение мочи при высокой температуре окружающей среды тормозится вследствие появления

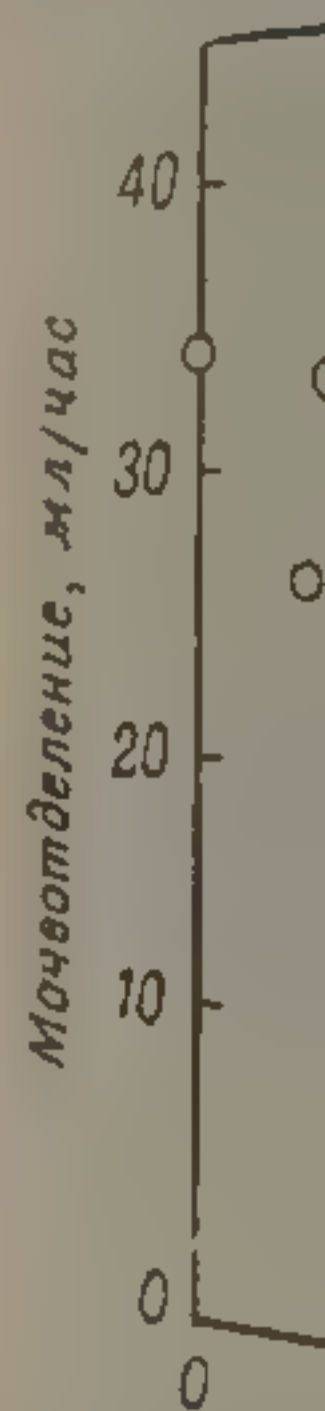
каких-то нарушений кровообращения, исчезающих в условиях более низкой температуры.

Минимальный объем мочи обуславливается отчасти и выделением незначительных количеств солей. У испытуемого, который принимал и выделял большие количества хлоридов, как правило, за время лишения его воды объем выделяемой мочи достигал $30-50 \text{ см}^3/\text{час}$ и никогда не падал ниже $16 \text{ см}^3/\text{час}$. То обстоятельство, что во время экспериментов (продолжительностью 9—10 час.) испытуемые не принимали пищи, вероятно, способствовало уменьшению количества выделяемой мочи.



Фиг. 45. Зависимость между объемом мочи и дефицитом воды в организме. Данные получены на испытуемом, подвергавшемся 7 раз действию температуры 50° (в течение 8—10 час., без пищи и воды).

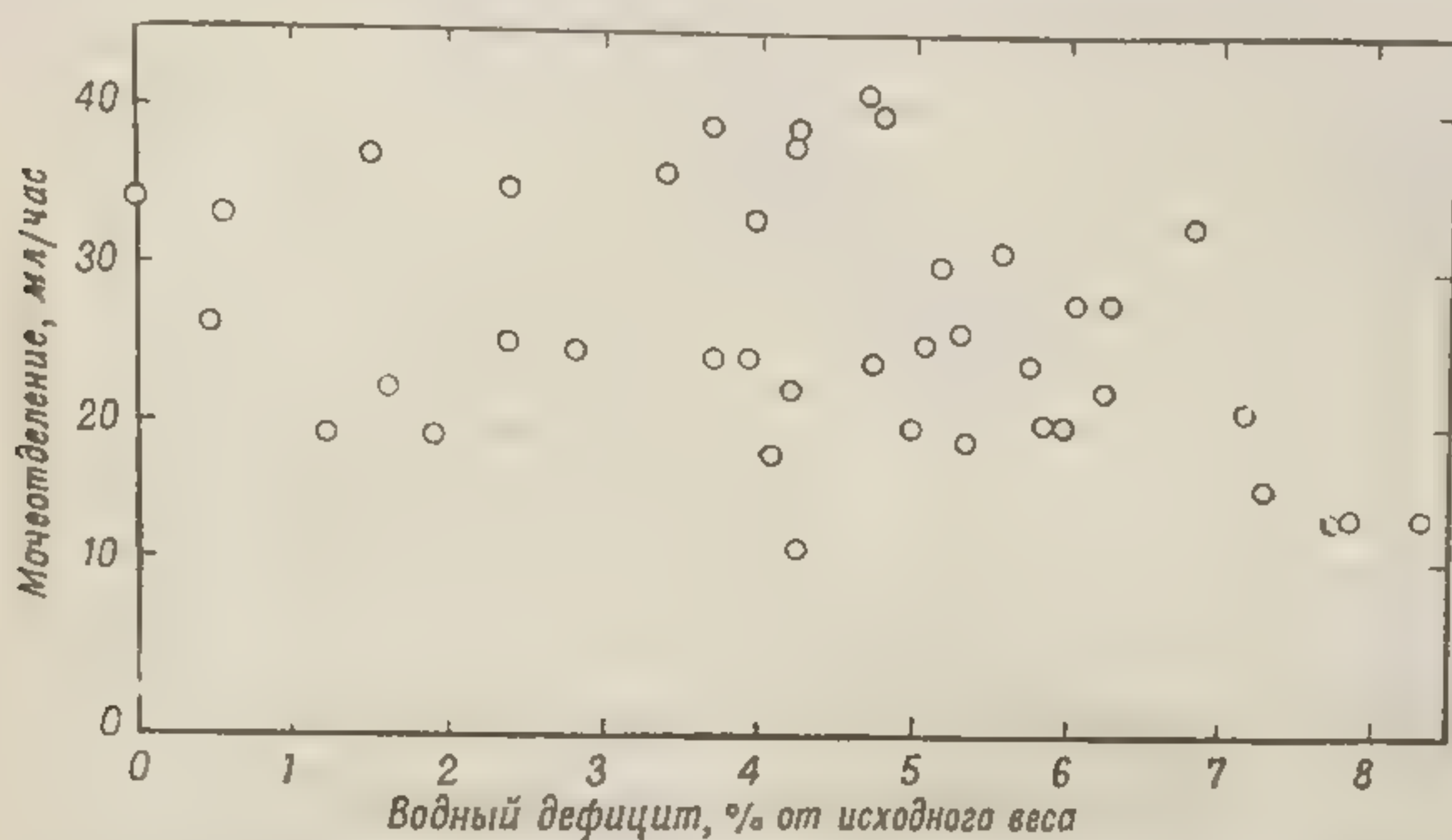
Мы пытались выяснить, регулярно ли уменьшается количество выделяемой мочи при уменьшении содержания воды в организме человека. При проведении этих экспериментов уменьшение содержания воды в организме устанавливалось по уменьшению веса тела. При определении уменьшения веса тела, наступающего вследствие интенсивного потоотделения без возмещения потери воды, неточности измерений, обусловленные расходом других веществ (кроме воды), настолько незначительны, что ими вполне можно пренебречь. Путем сравнения количеств мочи, выделяемой при разных водных дефицитах в организме, было установлено, что объем мочи лишь незначительно уменьшается в зависимости от водного дефицита. Очень легко может составить обратное представление (что объем мочи зависит от водного дефицита), так как в течение каждого эксперимента количество выделяемой мочи регулярно уменьшалось по мере продолжения опыта, а следовательно, и по мере возрастания дегидратации (фиг. 45). Поэтому лучше проводить



Фиг. 46. Зависимость между объемом мочи и дефицитом воды в организме. Данные получены на испытуемом, подвергавшемся 7 раз действию температуры 50° (в течение 8—10 час., без пищи и воды).

Поскольку очень широко может служить для определения объема выделяемой мочи, указывая на организм. На основании вод: воду, содержание мочеотделением способом количества экскреции. Считается, что прекращение мочеотделения может быть следствием только в самых тяжелых случаях дегидратации. Мы не встречались с такими случаями.

сравнение таким образом, чтобы разной степени дефициты воды в организме испытуемых, вызванные пребыванием в условиях высоких температур, продолжались бы в течение более длительного времени. Таким путем было обнаружено, что при недостатке воды в организме, превышающем 2—3% веса тела, количество выделяемой мочи было меньше по сравнению с количеством, выделяемым при более низких температурах; однако при водном дефиците, превышающем 7% веса тела, дальнейшего уменьшения объема мочи не наблюдалось (фиг. 46).



Фиг. 46. Зависимость между объемом мочи и дефицитом воды в организме. Данные четырех экспериментов, проведенных на одном испытуемом при различных температурах воздуха (без пищи и воды).

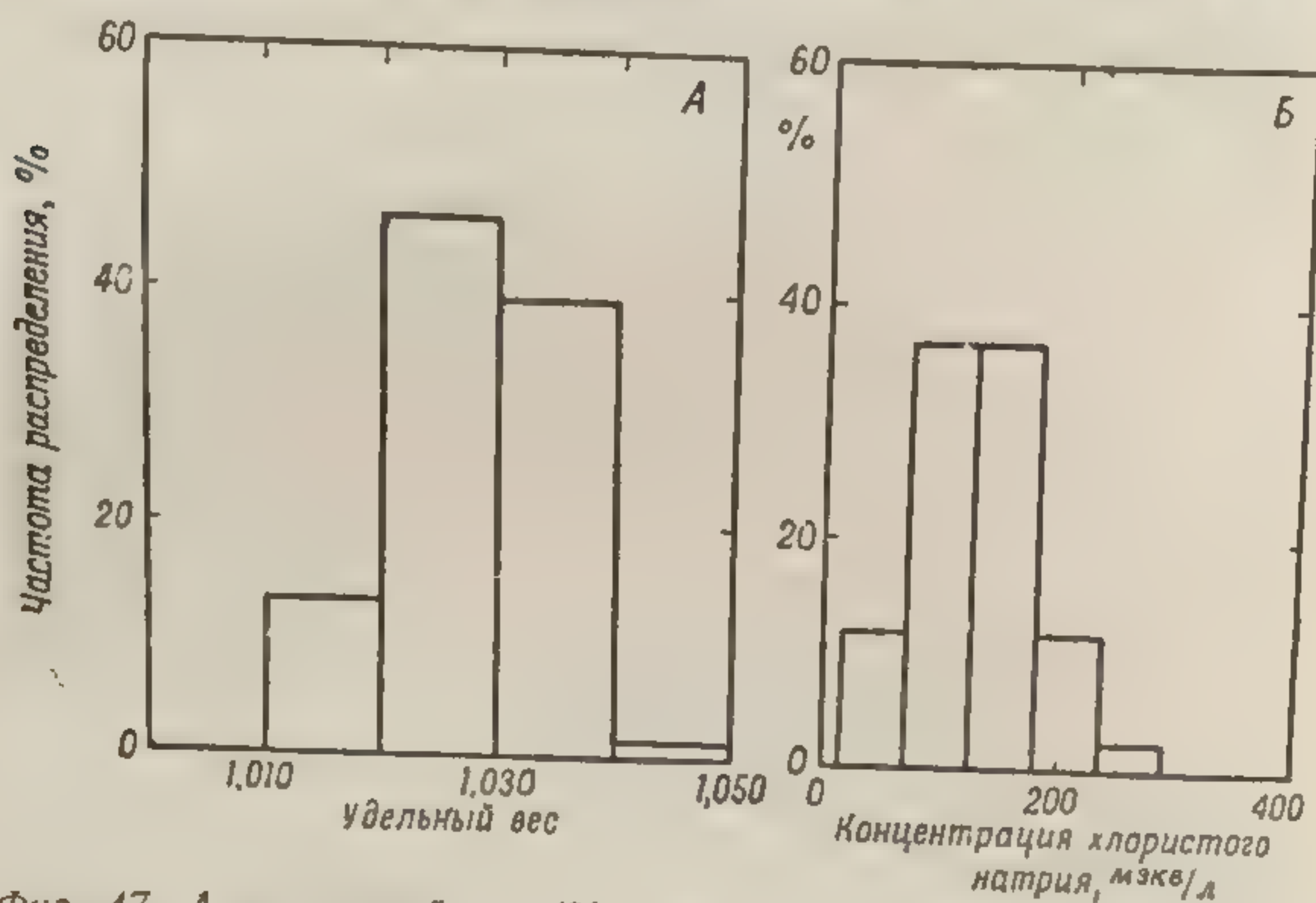
Поскольку величина мочеотделения остается постоянной при очень широких колебаниях содержания воды в организме, она не может служить показателем степени водного дефицита. Минимальный объем выделяемой мочи, особенно в условиях высокой температуры, указывает лишь на наличие некоторого недостатка воды в организме.

На основании этих фактов должен быть сделан следующий вывод: воду, содержащуюся в теле человека, нельзя сберечь уменьшением мочеотделения путем обезвоживания организма. Единственным способом уменьшения мочеотделения является уменьшение количества экскретируемых солей в организме, что можно отчасти осуществить путем соответствующего изменения пищевого рациона.

Считается, что у людей, умирающих от обезвоживания организма, прекращается образование мочи. Если это так, то такая анурия может быть следствием нарушений кровообращения, наступающих только в самых крайних случаях. В нашей экспериментальной работе мы не встречались с явлениями анурии.

Концентрация мочи

Общая концентрация мочи обычно определяется по ее удельному весу. Всякое пребывание в условиях высокой температуры повышает общую концентрацию мочи (табл. 14), так как, хотя обычно на образование мочи тратится лишь минимальное количество воды, однако общая концентрация ее изменяется на 25—50% под влиянием умеренной дегидратации, наступающей у всех людей, подвергавшихся действию высокой температуры. Максимальный удельный вес суточной мочи по данным 91 пробы, собранной в течение

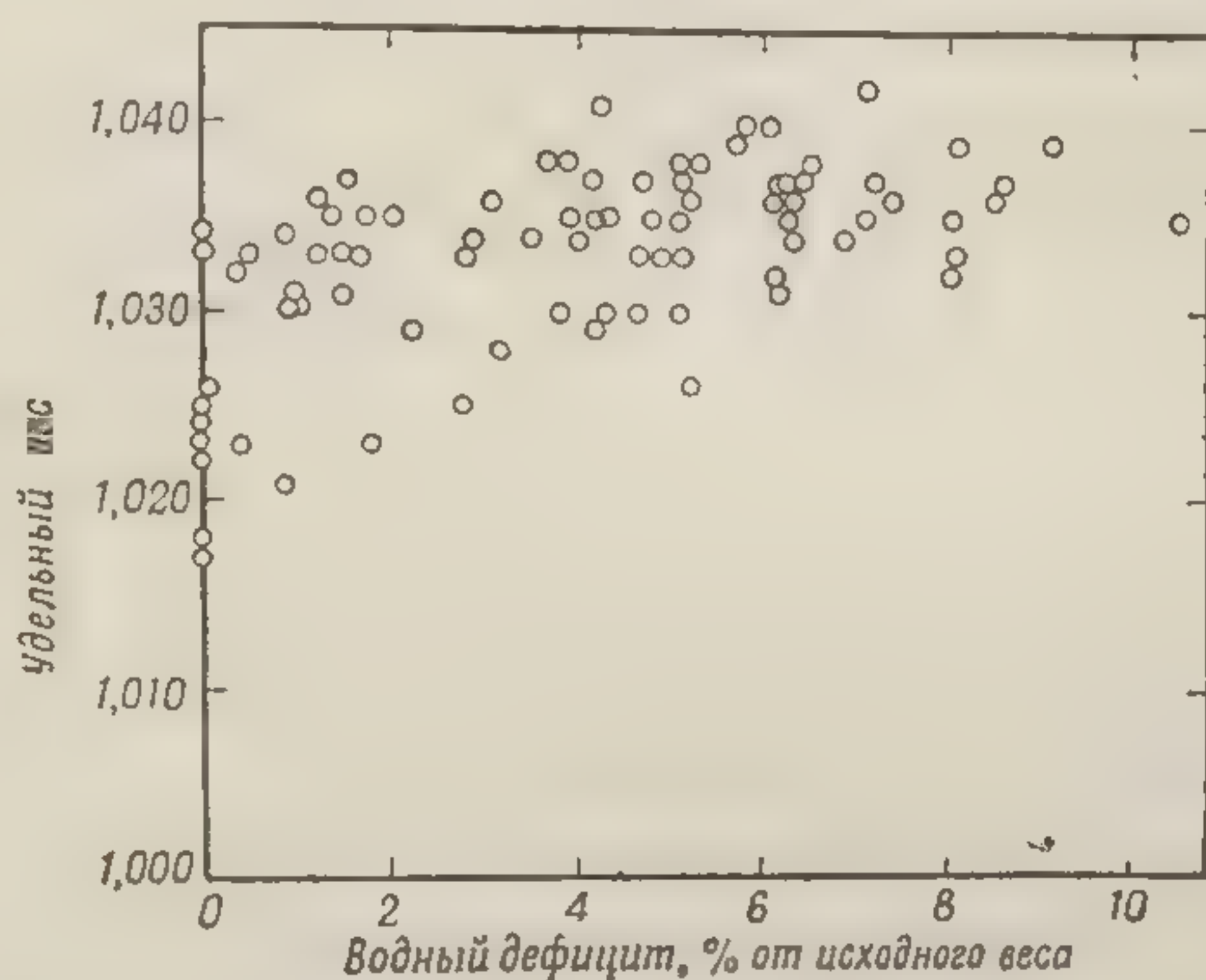


Фиг. 47. А — удельный вес (91 проба от 66 испытуемых); Б — концентрация хлористого натрия (41 проба от 21 испытуемого) суточной мочи, собранной в условиях пустыни.

сентября 1942 г. у 66 испытуемых, составлял 1,043, а средний удельный вес 1,027 (фиг. 47, А). У трех испытуемых, подвергавшихся 4 раза экспериментальной дегидратации в тепловой камере, наблюдалось крайне незначительное повышение удельного веса мочи (фиг. 48).

Сходным образом может значительно возрастать концентрация и отдельных составных частей мочи. Одной из таких составных частей является мочевины (анализ проводился по методу, описанному Баркером [1]), как это было показано в лабораторных условиях на испытуемых, находящихся на неконтролируемой диете и в течение ряда дней подвергавшихся действию высокой температуры. Очевидно, при высокой температуре окружающей среды вода интенсивнее удерживается почками и в результате этого в моче повышается концентрация мочевины. Обезвоживание организма мало влияет на концентрацию мочевины.

Измерение титруемой кислотности при дегидратации в условиях высокой температуры не дало каких-либо интересных результатов. Эти анализы проводились нами потому, что дегидратация иногда сочетается с гипервентиляцией, которая может быть причиной уменьшения выведения кислоты с мочой. Однако даже в тех случаях, когда наблюдалась временная гипервентиляция, не было обнаружено закономерного уменьшения выделения кислоты с мочой. Хлориды следует выделить в особую категорию, потому что большое количество их выделяется из организма человека с потом. Проведенные нами анализы (по методу, описанному Петерсом и



Фиг. 48. Зависимость между удельным весом мочи и дефицитом воды в организме.

Ван-Слайком [2]) показали, что средняя концентрация хлористого натрия в моче в условиях пустыни почти такая же, как и в умеренном климате (см. табл. 14). Как правило, в пустыне люди потребляют большее количество соли, компенсируя этим в достаточной степени более интенсивное выделение ее с потом, причем для выведения с мочой остается почти обычное количество.

Концентрация хлористого натрия в моче является, грубо говоря, показателем содержания соли в организме. Мы считаем, что когда в 1 л мочи содержится 2 г хлористого натрия, то это значит, что запасы этой соли в организме человека не истощились. Мы обнаружили, что только в 2 из 41 пробы суточной мочи концентрация хлористого натрия составляла 2 г/л; ни в одной из 37 проб мочи, собранной за более короткий срок (2 часа), не наблюдалось столь низкого содержания соли (см. фиг. 47, Б). На основании этого мы делаем вывод, что в пустыне солевая недостаточность не представляет собой обычного явления.

В исследованных нами пробах мочи не было обнаружено никакой связи между удельным весом мочи и концентрацией в ней хлористого натрия. Поэтому когда нужно установить, достаточны ли солевые резервы организма, ареометр не может заменить собой химического анализа.

Выведение растворенных веществ

Общее количество растворенных веществ в моче можно определить по формуле:

$$(\text{Удельный вес} - 1) \times \text{объем выделенной мочи}$$

В условиях пустыни количество растворенных в моче веществ примерно такое же, как и в умеренном климате, однако оно бывает различным при выделении больших и малых объемов мочи (см. фиг. 42). Это означает, что при небольшом объеме мочи в ней содержится меньшее количество растворимых веществ, частично вследствие уменьшения потребления пищи, частично из-за большей задержки этих растворимых веществ в организме, обычно сопровождающей понижение экскреции мочи. Точно так же можно себе представить, что когда нужно удалить из организма большее количество растворимых веществ, моча должна содержать и значительно больше воды.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные о количестве выводимой с мочой мочевины не дают достаточного материала для систематического сравнения, ибо эти данные получены исключительно в лабораторных условиях, и всякое отклонение от нормы, которое может быть обнаружено в полевых условиях, будет, по всей вероятности, отражать изменения в рационе, а не в процессах экскреции. Необходимо указать, что пониженное выведение мочевины, сопровождающее уменьшение объема выделяемой мочи, будет наблюдаться в полевых условиях только как временное явление, т. е. только в течение первых 1—2 дней пребывания при высокой температуре, таким образом коэффициент очищения от мочевины будет минимальным.

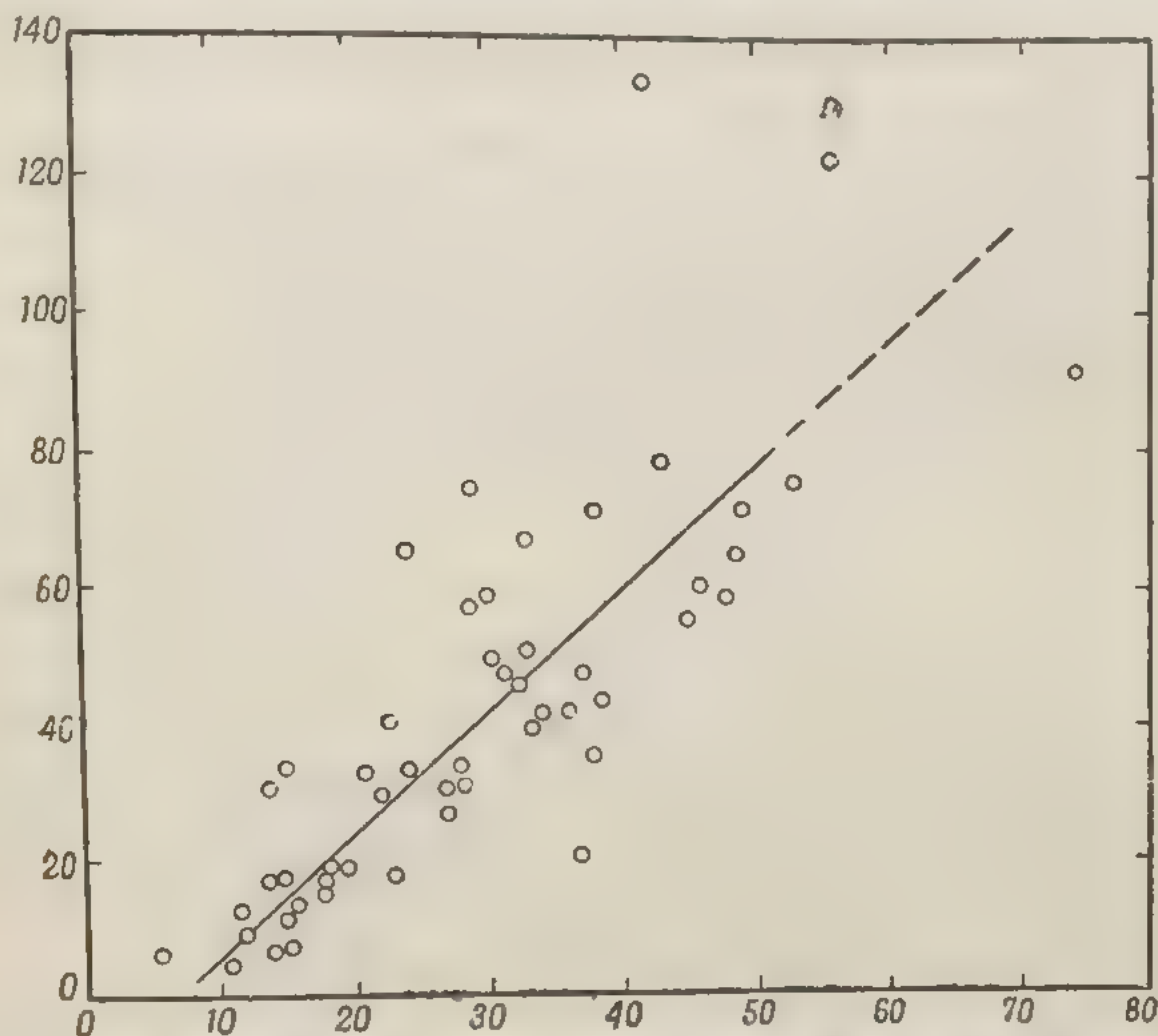
Очищение от мочевины изучалось в серии лабораторных экспериментов, в которых испытуемые подвергались дегидратации и действию высокой температуры. При этом единственной целью было получить явление, известное под названием «минимального выведения мочевины с мочой» [3]. Считается, что оно наблюдается всякий раз, когда объем мочи бывает порядка $20 \text{ см}^3/\text{час}$ или меньше. В общем, полученные нами материалы вполне соответствовали нашим ожиданиям и свидетельствовали о том, что количество выделяющейся мочи является главным фактором в процессе экскреции мочевины даже в том случае, когда объем мочи достигал $60 \text{ см}^3/\text{час}$ (фиг. 49). Повидимому, при этом можно не



Фиг. 49. Зависимость выведения мочевины и объема мочи. По ординате — удельный вес мочи, по абсциссе — объем мочи.

Следовательно, образующаяся для своего сохранения в организме дегидратация достаточна, чтобы обеспечить нормальное выведение мочевины. Из этого следует, что в сутки из организма выводится нормальное количество мочевины.

учитывать ни температуру окружающей среды, ни другие внешние факторы. Дегидратация и высокая температура сами по себе не уменьшают выведения мочевины. Таким образом, нет никаких данных, говорящих о нарушении в условиях пустыни экскреторной функции, за исключением того случая, когда вследствие недостатка воды в организме уменьшается объем самой мочи.



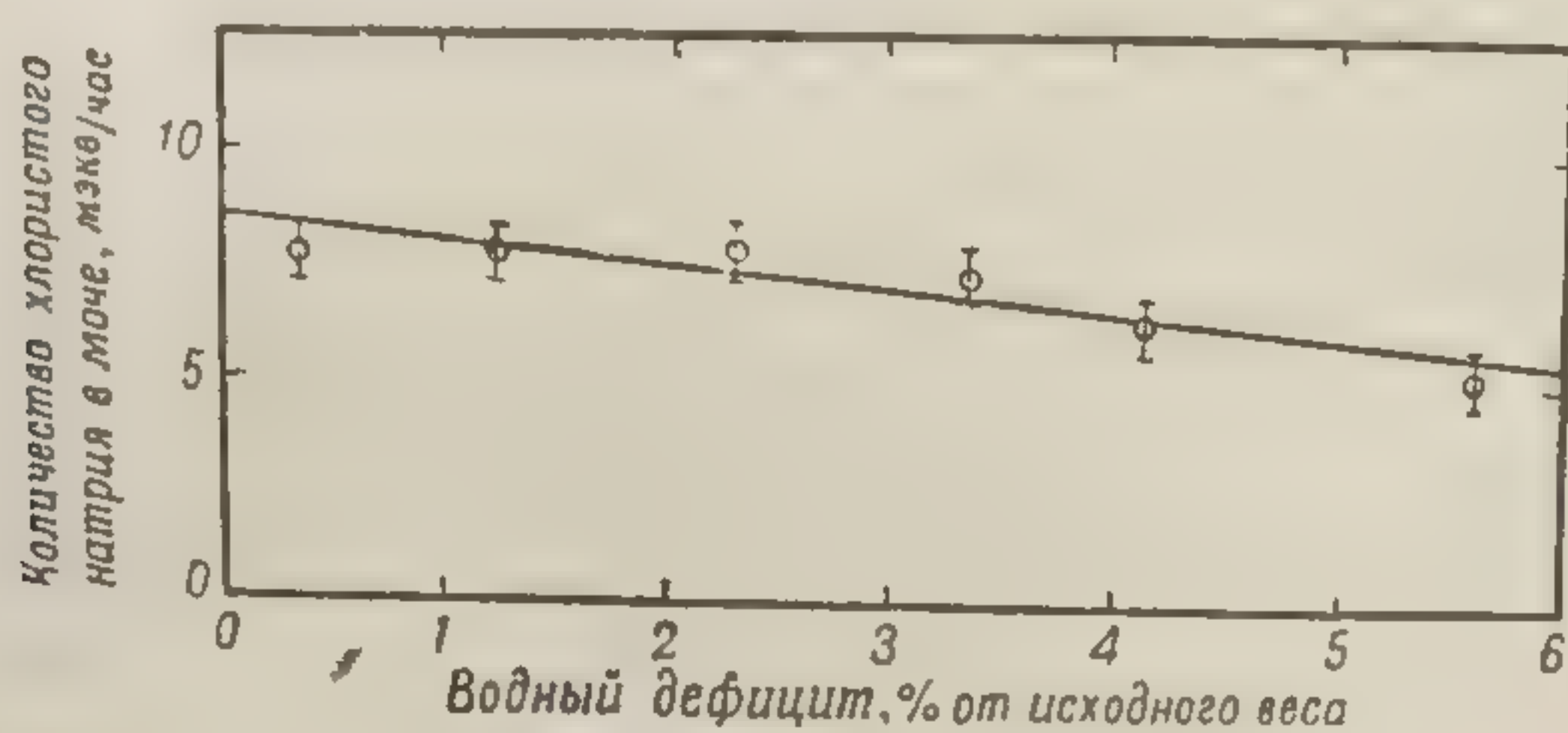
Фиг. 49. Зависимость между коэффициентом очищения от мочевины и объемом мочи во время обезвоживания организма. По ординате—очищение от мочевины, *мл/час*; по абсциссе — объем мочи, *мл/час*. Каждый кружок представляет собой результаты исследования одного из 4 испытуемых (в течение 1—1,5 часа).

Следовательно, можно сделать вывод, что умеренный избыток мочевины, образующийся в процессах обмена веществ, не нуждается для своего немедленного выведения в расходовании воды, содержащейся в организме. Поэтому в результате кратковременной дегидратации достигается некоторая экономия воды, экскретируемой из организма.

Оказалось, что в пустыне с мочой выводится такое же количество хлористого натрия, как и в другом климате (6,8 г, или 116 *мэкв* в сутки). Из проведенных нами 27 анализов только в двух случаях с мочой выводилось меньше 2 г хлористого натрия в день. Фолкнер и Лайолл [4] указывают, что это количество свидетельствует о нормальном содержании хлористого натрия в организме человека.

Мы измеряли экскрецию хлористого натрия за 1 час и провели с этой целью большую серию экспериментов, в которых 4 испытуемых подвергались дегидратации в тепловой камере при различных температурах. Обычно количество выводимых хлоридов пропорционально количеству выведенной воды. Оно уменьшается скорее с течением времени, чем в зависимости от водного дефицита как такового (фиг. 50). Другими словами, можно сказать, что концентрация хлоридов в моче почти постоянна, а количество выделяемой воды зависит от количества солей.

Во всех вышеприведенных материалах нет указаний на то, что работа почек нарушается под влиянием высокой температуры,



Фиг. 50. Зависимость между содержанием хлористого натрия в моче и дефицитом воды в организме. Каждый кружок соответствует среднему из 22 проб, сгруппированных по степени водного дефицита. Для каждой средней показана стандартная ошибка (± 2).

или дегидратации организма, или и того и другого вместе. В процессах обмена веществ также не обнаружено каких-либо ненормальных особенностей, за исключением незначительной экономии в расходовании воды на образование мочи. Можно сказать только, что люди, у которых выделяется неконцентрированная моча, могут оказаться в условиях пустыни в несколько менее выгодном положении.

Потребность в соли

В пустыне всегда актуален вопрос о достаточном снабжении человека солью. О том, удовлетворяется ли потребность человека в воде, мы судим по полному восстановлению веса тела, наступающему вскоре после приема с каждой едой неограниченного количества воды. Но не так легко установить, хватает ли организму человека соли, ибо потребность в соленой пище проявляется менее определенно, чем чувство жажды, а количество соли, принимаемое с едой, и суммарную потерю последней гораздо труднее измерить. Показателями содержания соли в теле человека являются: а) баланс между

вступлением в организм хлористого натрия, выводимого из организма таким путем, как в пустыне. Соль расходуется в процессе колебаний в степени адаптации к среде, а также от р...

Фиг. 51. Кристаллы соли в пустыне

...едей даже за 1 день скапливаются большие количества, постоянно, изо дня в день у других и характерно.

Приемы больших количеств соли в организме.

Теперь обратимся к вопросу о возможности дегидратации, среди которых можно бы...

...венозной крови по дегидратации, среднее содержание такой жидкости, проводимое измерением таковой (измерения величина собранных в лаб...

поступлением и выделением хлористого натрия; б) концентрация хлористого натрия в сыворотке крови и в) количество хлористого натрия, выводимое с мочой. Легче всего измерить последнее, и именно таким путем мы и установили, что меньше 5% солдат, находящихся в пустыне, получают недостаточное количество соли.

Соль расходуется главным образом с потом. Содержание соли в поте колеблется в зависимости от индивидуальных особенностей, от степени адаптации человека к высокой температуре окружающей среды, а также от рода его физической деятельности. У некоторых



Фиг. 51. Кристаллы соли на коже испытуемого после похода в пустыне в течение 4,5 час. (18 сентября 1942 г.)

людей даже за 1 день пребывания при высокой температуре на коже скапливаются большие количества соли (фиг. 51). У таких людей постоянно, изо дня в день, на коже обнаруживается больше соли, чем у других и характерно, что они и потребляют гораздо больше соли.

Приемы больших количеств соли могут привести к повышению концентрации соли в поте. Концентрация соли в поте зависит от содержания ее в организме.

Теперь обратимся к вопросу о содержании хлористого натрия в сыворотке венозной крови. В совершенно стандартных условиях, о которых можно было с уверенностью сказать, что они не вызовут дегидратации, средняя концентрация хлористого натрия в сыворотке венозной крови по данным 75 проб равнялась 96 мэкв/л, т. е. была совершенно такой же, как и у людей, живущих в другом климате (измерения проводились одним и тем же методом). Колебания в полученных величинах были больше, чем это сообщалось для данных, собранных в лабораторных условиях; стандартное отклонение рав-

нялось $\pm 4,3$ мг/л. Колебания в содержании хлористого натрия у отдельных испытуемых были не больше, чем у всей группы в целом, что указывает на общую изменчивость концентрации хлористого натрия. Эта особенность, несомненно, связана с быстротой кругооборота этого вещества и колебаниями в содержании воды в организме человека, ибо в течение одного или двух часов как вода, так и соль могут накапливаться и расходоваться в значительных количествах, причем эти процессы могут идти в разных направлениях.

Хотя в условиях пустыни в среднем за день выделялось с мочой 6,8 г хлористого натрия, по всей вероятности, в процессах обмена веществ за то же время участвовало в 3—4 раза большее количество хлористого натрия. Так как в среднем в теле человека содержится 165 г хлористого натрия, то, следовательно, 10—15% этого количества совершают полный оборот за 24 часа. Поэтому можно ожидать, что в течение одного дня у человека, находящегося в пустыне, колебания в концентрации хлористого натрия могут даже превышать указанные $\pm 4\%$.

У людей, только что приехавших в пустыню, живущих в ней или вернувшихся в условия умеренного климата, средняя концентрация хлористого натрия в сыворотке крови почти одинакова. Однако никто не пробовал измерить, какое количество соли потребляют эти люди.

Между концентрацией хлористого натрия в сыворотке крови и в пробах мочи, собранных за двухчасовые отрезки времени (28 измерений), не было обнаружено никакой зависимости. Совершенно невозможно сказать, можно ли считать даже самые низкие из найденных концентраций хлористого натрия в сыворотке крови (88 мэкв/л) сигналом о недостатке соли в организме. В организме человека может быть недостаток соли, но нельзя с уверенностью судить об этом по измерению содержания хлористого натрия в крови. Солевая недостаточность проявляется в функциональных нарушениях, например в снижении физической работоспособности [5,6]. Известно, что у человека наступает солевая недостаточность в том случае, когда он получает мало соли, а выделяет много, но мы не можем дать этим процессам точной количественной характеристики и ограничиваемся указаниями только средних величин.

Известно [7], что после акклиматизации к пустыне с потом выделяется меньшее количество соли. Недавно было обнаружено [8], что концентрация соли в поте уменьшается также и в том случае, когда в организме человека частично истощился запас соли. Следовательно, пот, подобно моче, реагирует на «требование» организма экономить соль. Другими словами, нельзя точно установить, какое количество соли необходимо для нормального обмена веществ. Часто прием соли оказывается меньше, чем казалось бы следовало ожидать. Однако этот факт не уменьшает физиологического значе-

ния приемов пищи
возможности разл
ности.

Можно ли сберечь

1. Было показано
из организма вывод
среднем водном дефи
держивать у людей
устанавливается в ж

2. Количество вод
содержанием в орган
максимальной концен
веществ, которые дол
ходуется воды на обр
можно частично по
пищи. Однако при ум
называет опасность по
чтительном снижении
нимаемая пища стано
что при отсутствии д
хлоропринимать как
мных веществ, требую
завязь употреблением
ить белковый обмен,
количество мочевины
принимаемой пищи не
жизни в пустыне; это
ситуациях, когда сов

3. Во время дегид
тельные количества р
рассматривать как сле
мочеотделения. Такая
ствия, так как обычно
едруется при частым
совершенно не произво
нения того, не вызыва
кровообращения ил

4. Можно найти «з
и чем соли и малой по
такое положение, при
количество пота в орг
выделения ее с мочой.
идется пота сильно ва
ренности, что ограни

ния приемов нужного количества соли и не предотвращает возможности различных нарушений в результате солевой недостаточности.

Можно ли сберечь воду путем уменьшения мочеотделения?

1. Было показано, что даже при значительном водном дефиците из организма выводится почти такое же количество мочи, как и при среднем водном дефиците. Очевидно, совершенно бесполезно поддерживать у людей большой водный дефицит, чем тот, который устанавливается в жарком климате.

2. Количество воды, идущей на образование мочи, определяется содержанием в организме веществ, выделяемых с мочой при ее максимальной концентрации. Чем меньше находится в организме веществ, которые должны быть из него выведены, тем меньше расходуется воды на образование мочи. Количество выводимых веществ можно частично понизить уменьшением количества поглощаемой пищи. Однако при уменьшении поступления соли в организм возникает опасность появления солевой недостаточности, а при значительном снижении количества азотистых соединений вся принимаемая пища становится неполноценной. Из всего этого следует, что при отсутствии достаточного количества питьевой воды необходимо принимать как можно меньше пищи. Количество растворимых веществ, требующих удаления из организма, можно также понизить употреблением в пищу углеводов для того, чтобы ограничить белковый обмен, в результате которого образуется большое количество мочевины [9]. Однако подобное уменьшение количества принимаемой пищи не следует практиковать в обычных условиях жизни в пустыне; это можно делать только в крайних и временных ситуациях, когда совершенно отсутствует запас воды.

3. Во время дегидратации в организме накапливаются значительные количества растворимых веществ. Это накопление можно рассматривать как следствие уменьшения их выведения при слабом мочеотделении. Такая слабая уремия не оказывает вредного действия, так как обычно (в условиях жизни в пустыне) она сразу ликвидируется при частых приемах воды. Однако нужно отметить, что совершенно не производилось контрольных исследований для выяснения того, не вызывает ли длительная дегидратация нарушения кровообращения или деятельности почек.

4. Можно найти «золотую середину» между большим поступлением соли и малой потребностью в воде. Идеальным являлось бы такое положение, при котором после образования необходимого количества пота в организме оставалось бы очень мало соли для выведения ее с мочой. В действительности же количество образующегося пота сильно варьирует в различные дни, и нет никакой уверенности, что ограничение в приеме соли приведет к этому опти-

мальному положению. Поэтому некоторое количество воды всегда будет растрачиваться «впустую» для выведения с мочой избытка соли (на каждый грамм выводимого с мочой хлористого натрия расходуется около 50 см^3 воды). Количество воды, идущей на образование мочи, определяется тем, что концентрация солей в моче обычно не превышает 0,35 моля, а концентрация всех растворимых веществ не больше 1,2 моля [10]. При повторных обезвоживаниях организма максимальная концентрация мочи не увеличивалась. Незначительная экономия воды может быть достигнута при замене одного экскретируемого растворимого вещества другим.

5. Так как концентрация мочи определяется особенностями и состоянием организма человека, то потребление мочи вместо питьевой воды даже в состоянии дегидратации совершенно бесполезно. Введенные с мочой растворимые вещества снова потребуют быстрого удаления из организма и с ними выводится прежнее количество воды. То же самое происходит и при питье морской воды; соленая вода полезна, если ее концентрация вдвое меньше концентрации морской воды. Питье соленой воды обычно полезно с точки зрения удержания воды телом человека; ее главный недостаток заключается в высоком содержании в ней веществ, раздражающих кишечник. Единственный способ использования мочи и морской воды сводится к тому, чтобы, смачивая ими одежду и давая этим жидкостям возможность испаряться, тем самым несколько охладить тело и таким образом заменить некоторое количество пота.

6. У всех людей, находящихся в пустыне, и в особенности у тех, которые продолжительное время выполняют физическую работу, объем выделяемой мочи близок к минимальному. Каждый человек, лишенный воды, перестает много есть, в результате чего количество выделяемой им мочи может еще более понизиться. В условиях пустыни человек, полностью удовлетворяя чувство жажды, никогда не выпивает большего количества воды, чем необходимо для выведения из организма растворимых конечных продуктов обмена веществ. Нормальным и обязательным следует считать выделение $700\text{—}900 \text{ см}^3$ мочи в сутки; 500 см^3 мочи в сутки — минимальный объем, за исключением тех случаев, когда человек близок к голодной смерти. Итак, максимум возможной экономии у людей, лишенных питьевой воды, достигается совершенно произвольно. Намеренное лишение себя воды не приводит к такой экономии содержащейся в организме воды, которая окупала бы наступающие при этом слабость и истощение.

Даже из этого краткого изложения совершенно ясно, что вода, выводимая с мочой, не просто впустую растрачивается организмом человека. Упомянутые выше факты показывают, что всякая экономия содержащейся в организме человека воды, достигаемая путем подавления мочеотделения, в условиях жаркой пустыни нежелательна и, кроме того, крайне незначительна. Нет никаких данных,

которые указывают на то, что экономия воды достигается за счет нарушения деятельности организма и обмена веществ в теле человека.

1. Barker S.
2. Peters J. mistry, Bal
3. Chesley L
4. Falconer
5. Lehmann
6. Taylor H. Am. J. Phys
7. Dill D. B., bridge, p. 30
8. Gonn J. W.
9. Gamble J.
10. Adolph E.

которые указывали бы на то, что при обезвоживании организма нарушается деятельность выделительной системы. Соответствующие исследования показывают, что хотя состав пога до некоторой степени и обуславливается необходимостью экономии соли, содержащейся в теле человека, но все же крайне желательно обильное потребление хлористого натрия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barker S. B., *J. Biol. Chem.*, 152, 453 (1944).
2. Peters J. P., Van Slyke D. D., *Quantitative Clinical Chemistry*, Baltimore, Williams & Wilkins, II, 334 (1932).
3. Chesley L. C., *J. Clin. Investigation*, 17, 119 (1938).
4. Falconer M. A., Lyall A., *Brit. M. J.*, 2, 1116 (1937).
5. Lehmann G., Szakall A., *Arbeitsphysiol.*, 9, 653 (1937).
6. Taylor H. L., Henschel A., Mickelsen O., Keys A., *Am. J. Physiol.*, 140, 439 (1943).
7. Dill D. B., *Life, Heat, and Altitude*, Harvard Univ. Press, Cambridge, p. 36, 1938.
8. Gonn J. W., Johnston M. W., *Federation Proc.*, 5, 230 (1946).
9. Gamble J. L., *Proc. Am. Philos. Soc.*, 88, 151 (1944).
10. Adolph E. F., *Am. J. Physiol.*, 65, 419 (1923).

Глава VII

ПОТРЕБЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ

В предыдущих главах мы рассмотрели, каким образом происходит обезвоживание организма человека в условиях пустыни. Количественное изучение процессов пото- и мочеотделения показало, что главными факторами, определяющими размеры потерь воды, являются физическая деятельность, температура воздуха и действие теплового излучения. Значение этих факторов объясняется их влиянием на процесс потоотделения, так как выделение воды с мочой относительно невелико и постоянно. Для пополнения данных, касающихся потерь жидкости, мы исследовали также и поступление воды в организм человека.

Потребление воды определяется чувством жажды. Функциональное значение этого ощущения заключается в обеспечении организма человека водой в количестве, достаточном для покрытия всех потерь. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен ниже (см. главу XV), здесь же мы лишь отметим, что в условиях пустыни чувство жажды в большинстве случаев выполняет свою функцию, так как у человека обычно каждую ночь восстанавливается водный баланс. Однако в такой же степени верно и то, что при известных обстоятельствах чувство жажды часто бывает несоразмерно водному дефициту организма и обусловливаемый им прием жидкости недостаточен для сохранения нормального водного баланса.

Факторы, подавляющие жажду, и последствия несоответствия между ощущением жажды и водным дефицитом организма будут рассмотрены в главе XVI. Здесь же мы остановимся только на суточном потреблении жидкости.

Для сохранения водного баланса прием воды должен примерно соответствовать ее потерям. Вполне реальным способом определения суточного водного обмена является измерение количества жидкости, выпитой в течение 24 час. Мы произвели такие подсчеты примерно на 100 солдатах в условиях военных маневров, лагерной обстановки и т. д. Эти данные собирались для проверки крайне разноречивых сообщений о количестве воды, выпиваемой солдатами в пустыне. Мы надеялись также, что эти материалы послужат нам основанием и для точного определения потребности человека в воде.

Обычн
На ф. 52
ним человек
за 4 дня). Эт
воды требовало

Количество выпитой жидкости, г/час

1000

800

600

400

200

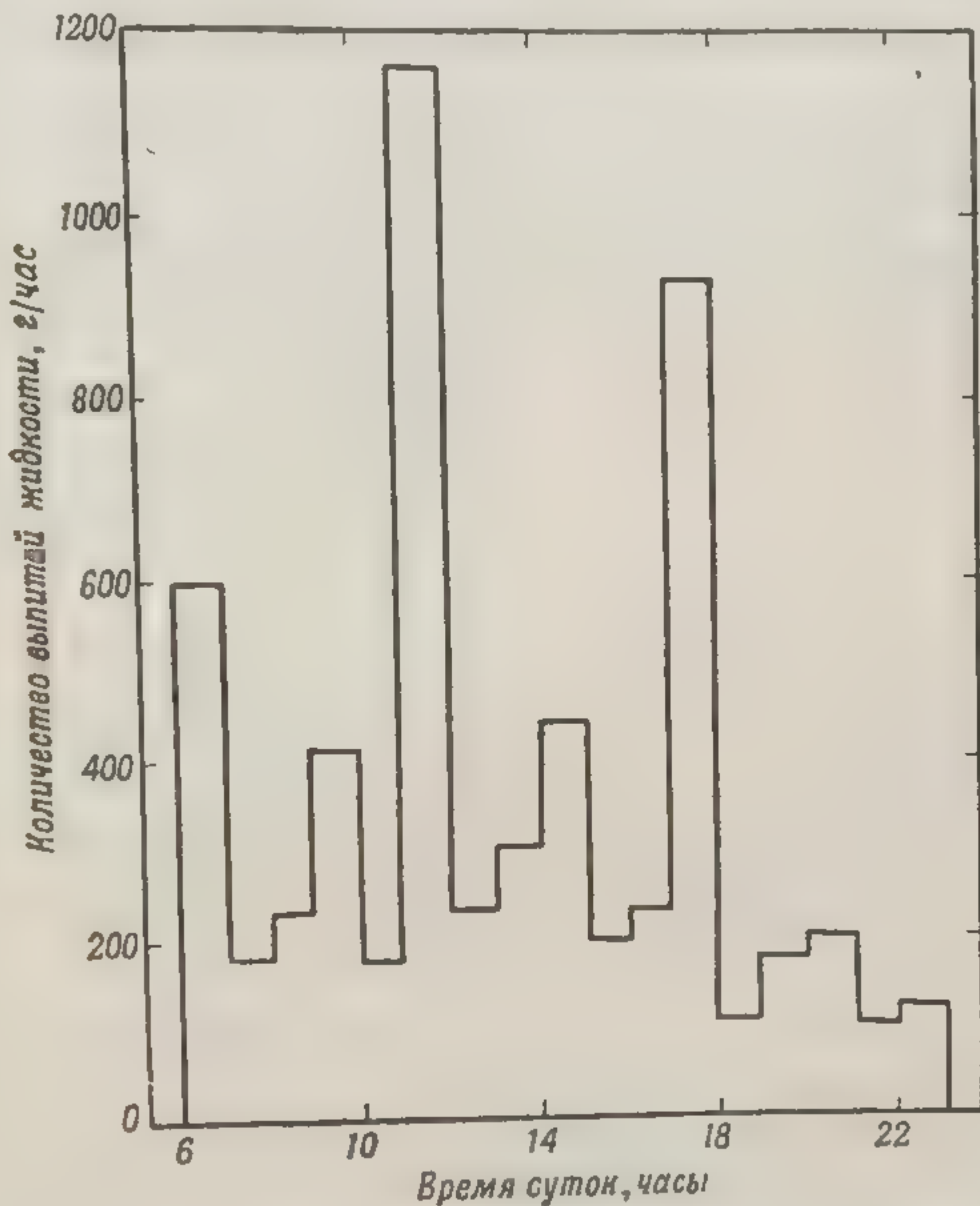
0

Фиг. 5
Прием

этого количества
ление воды дост
вают бо́льшую ч
сте с едой. Если
де всегда входят
может казаться,
как чаще он при
тового сока, а н
ределяя суммар
ю учитывали в
воду, содержащ

Обычный способ потребления питьевой воды

На фиг. 52 показано среднее количество воды, выпиваемой одним человеком умеренной активности в условиях пустыни (данные за 4 дня). Этому испытуемому для восполнения ежедневных потерь воды требовалось около 6 л жидкости, причем примерно половина

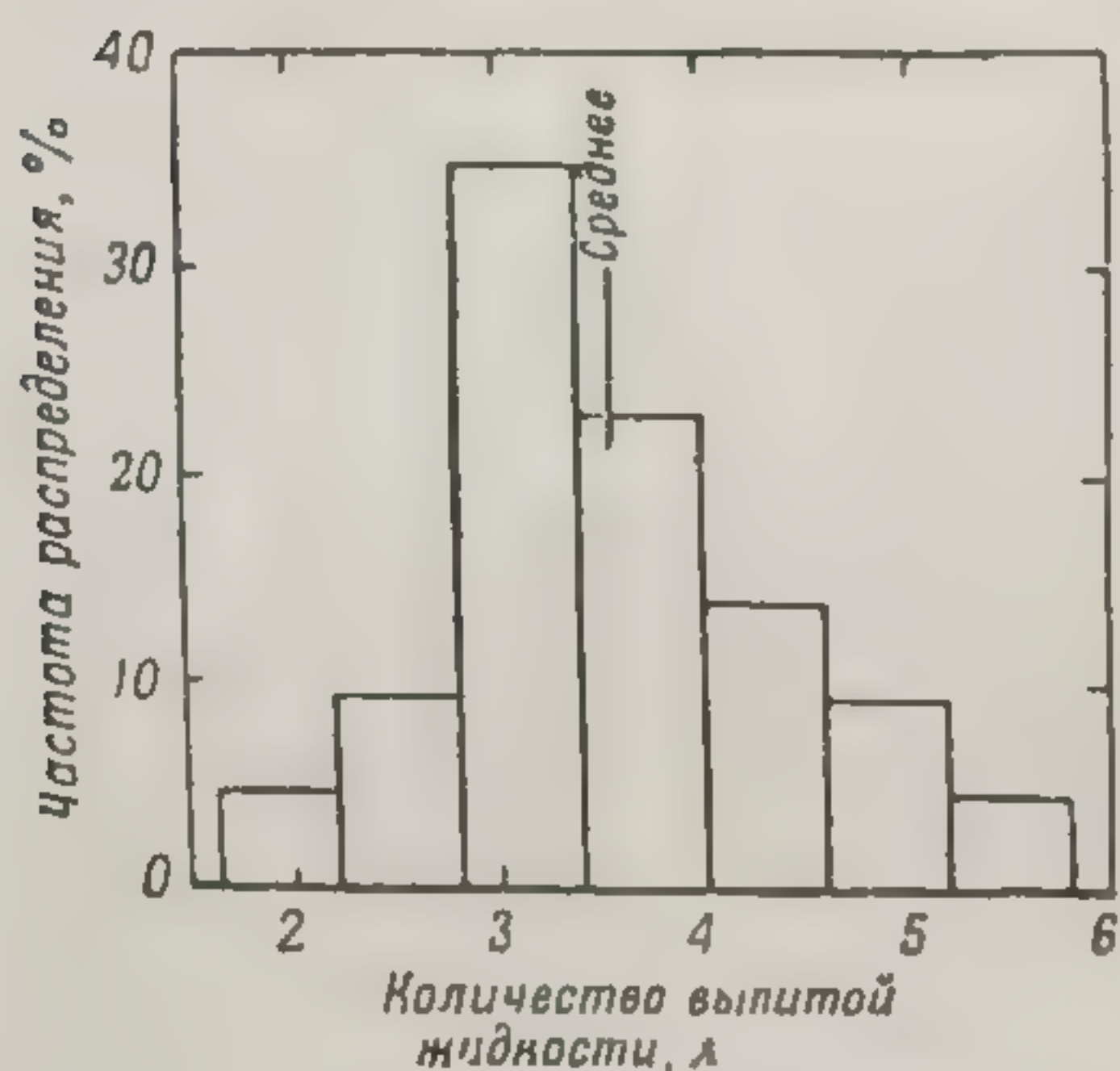


Фиг. 52. Суточное потребление воды одним испытуемым. Прием пищи в 7 час, 12 час. и 18 час; сон от 23 до 6 час.

этого количества принималась им вместе с едой. Подобное потребление воды достаточно типично. В пустыне солдаты обычно выпивают большую часть воды (в виде различного рода напитков) вместе с едой. Если еда происходит за общим столом, то эти напитки не всегда входят в индивидуальный водный рацион солдата. Солдату может казаться, что он выпивает небольшое количество воды, так как чаще он принимает ее за столом в виде холодного чая или фруктового сока, а не просто из фляги или специального бидона. Определяя суммарное количество поглощаемой жидкости, мы тщательно учитывали всю жидкую пищу и не принимали в расчет лишь воду, содержащуюся в твердой пище.

Потребление воды солдатами в лагерной обстановке

Испытуемые в сидячем положении и защищенные от солнечной радиации потребляют меньше воды, чем выполняющие тяжелую физическую работу под открытым небом. На фиг. 53 представлено суточное потребление жидкости на протяжении 22 дней при минимальной физической нагрузке испытуемого. В среднем потребление воды составляло 3,58 л в день. В те дни, когда испытуемый совершал пешные переходы, потребление воды возрастало в среднем до 4,39 л; дополнительное количество воды требовалось для возмещения добавочной потери пота, происходившей во время похода.



Фиг. 53. Суточное потребление жидкости (за 22 дня) при минимальной физической активности (у одного испытуемого), в условиях пустыни (июнь — июль 1943 г.)

Мы измерили количество потребляемой воды примерно у сотни испытуемых, ежедневно в течение определенного времени ходивших или выполнявших полевые работы, и установили, что в среднем оно составляло 5,9 л в день. Испытуемый, находящийся в сидячем положении, потребляет меньше, а работающий под открытым небом больше этого количества воды. В табл. 15 приводятся данные о количестве воды, потребленной группой испытуемых, занятых устройством стрельбищ (максимальная температура воздуха еже-

дневно равнялась 40°). Для выполнения этой работы в среднем на 1 человека в день требовалось 7,5 л воды. Почти вся вода шла на образование пота, а на образование мочи нормального удельного веса тратилось меньше 1 л — лучшее доказательство того, что испытуемые не принимали излишнего количества воды.

Таблица 15
ПОТРЕБЛЕНИЕ ВОДЫ СОЛДАТАМИ, ВЫПОЛНЯЮЩИМИ
В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ ТЯЖЕЛУЮ РАБОТУ
НА СОЛНЦЕПЕКЕ

Испытуемый	Потребление воды, л/сутки		Испытуемый	Потребление воды, л/сутки	
	25—26 августа 1942 г.	27 августа 1942 г.		25—26 августа 1942 г.	26—27 августа 1942 г.
А	6,2	—	Е	7,8	7,0
Б	6,4	9,4	Ж	7,0	—
В	6,9	—	З	9,1	10,8
Г	7,2	5,6	И	8,0	5,7

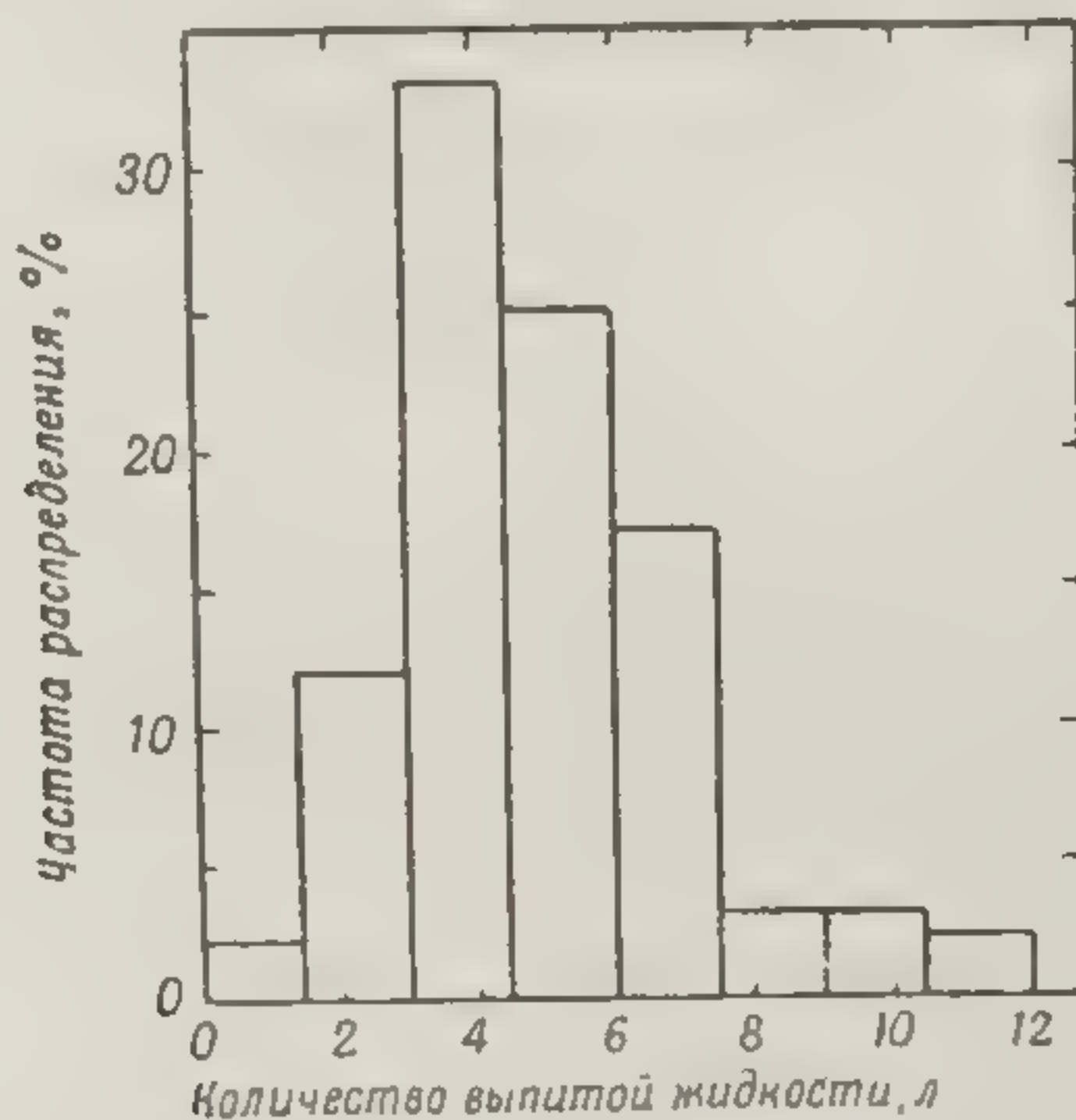
На фиг. 53 показаны суточные количества потребляемой воды пешеходными работниками. В среднем на одного человека требовалось 5,9 л/сутки. В табл. 15 приводятся данные о количестве воды, потребленной группой испытуемых, занятых устройством стрельбищ (максимальная температура воздуха еже-

Потребление воды солдатами во время маневров

Во время пяти военных маневров, проводившихся в конце лета 1942 г., были собраны данные о потреблении и выделении воды 26 солдатами.

В табл. 16 приводятся результаты наших исследований, большая часть которых охватывает два последовательных периода, каждый продолжительностью 24 часа.

Интересно отметить, что установленное нами среднее потребление 4—7 л воды на человека в день при средней максимальной дневной температуре $38,8^{\circ}$ примерно соответствует стандартному водному рациону Британской армии в несколько менее жаркой Ливийской пустыне.



Фиг. 54. Суточное потребление жидкости (97 определений).

На фиг. 54 показана частота распределения различных количеств потребляемой в сутки жидкости у испытуемых, занятых обычными лагерными обязанностями, совершающих пешеходные переходы, передвигающихся при помощи различных видов транспорта и выполняющих разнообразные полевые работы. Количество потребляемой воды в среднем составляло 5,9 л/сутки (стандартное отклонение $\pm 2,0$ л). За дни испытаний средняя максимальная температура воздуха равнялась $39,4^{\circ}$. В пяти случаях потребление воды превышало 10 л, а максимальное потребление составляло 11,6 л/сутки. О том, что потребление такого количества воды (11,6 л) практически достаточно для выполнения любой работы в условиях пустыни, свидетельствуют также отчеты ремонтных железнодорожных бригад.

Таблица 16

ПОТРЕБЛЕНИЕ ВОДЫ СОЛДАТАМИ ВО ВРЕМЯ МАНЕВРОВ

Число испытуемых	Способ передвижения	Характер деятельности	Среднее потребление воды, л/сутки
4	Полугусеничная машина	Рейсы по неровной местности, с частыми остановками только в дневное время	4,75
4	Средний танк М-4	Почти непрерывная езда в ночное и дневное время, большей частью по дорогам, без участия в сражении	5,7
7	Полугусеничная машина	Рейсы в ночное и дневное время, большей частью по дорогам; привалы	4,27
3	Легкий танк М-3	Езда в дневное и ночное время, с открытыми люками, по очень неровной местности; участие в кратковременном бою; редкая возможность принимать воду	3,8
8	Легкий танк М-3	Езда только в дневное время; продолжительные привалы, все время открытые люки; участие в семичасовом бою; во время движения редкая возможность принимать воду	4,27

Влияние временного водного дефицита на потребление жидкости

Во время некоторых экспериментов определенная часть испытуемых, совершавших пешие переходы, воздерживалась от приема воды в течение 4 и более часов. За этот период времени водный дефицит достигал 4,7% веса тела. Не наблюдается ли в результате такого воздержания от питья общей экономии воды? По видимому, нет, так как в конце эксперимента испытуемые, находящиеся в состоянии дегидратации, потребляют большое количество воды, а испытуемые, получавшие воду во время перехода, не обнаруживают желания пить. Таким образом, суточное потребление жидкости в обеих группах испытуемых в среднем варьирует лишь в пределах $\pm 4\%$ (табл. 17).

Из всего вышеизложенного читателю должно быть ясно, что потеря воды путем выделения пота является неизбежным следствием как физической деятельности испытуемых, так и пребывания их на солнцепеке; выделение воды с мочой остается в пределах нормы до тех пор, пока человек не выпивает избыточного (по сравнению с его потребностью) количества воды. Колебания в количестве пот-

Таблица 17

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННОГО НЕДОСТАТКА ВОДЫ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ
ЖИДКОСТИ ЗА 24 ЧАСА

Экспериментальные условия и результаты	Во время похода			
	без воды	с водой	без воды	с водой
	10 сентября 1942 г.		17 сентября 1942 г.	
Число испытуемых	9	10	5	9
Исходный вес тела, кг	75,59	77,92	72,23	71,86
Потребление жидкости, кг	4,60	5,43	8,20	7,75
Изменения в весе тела, кг	-0,22	+0,28	-0,09	-0,18
Потребность в воде, кг	4,82	5,15	8,29	7,93
Усвоено жидкости (% от исходного веса)	6,37	6,62	11,47	11,02
Отношение между количествами усво- енной жидкости у испытуемых, не получавших и получавших воду . .	0,96		1,04	

ребляемой за день жидкости определяются величиной суммарной потери воды. Проводя в течение 97 дней измерение полного кругооборота воды в теле человека, мы установили, что в среднем 85% общего количества расходуемой воды выделяется из организма в виде пота. Корреляция между выделением пота и потреблением воды равнялась +0,88, в то время как корреляция между количеством выделенной мочи и количеством выпитой жидкости составляла только +0,15. Последнее вполне согласуется с нашими данными о мочеотделении (см. главу VI).

Условия жизни в пустыне не вызывают увеличения дневного объема мочи, и поэтому количество потребляемой жидкости примерно равно количеству выделяемого пота (см. фиг. 20).

На основании всего вышесказанного можно сделать следующие выводы.

1. Потребление жидкости за день в условиях пустыни значительно превышает потребление жидкости в умеренном климате.

2. Наибольшее потребление жидкости происходит обычно в самые жаркие дни и у наиболее деятельных испытуемых, т. е., другими словами, оно соответствует максимальным потерям пота. Столь большие количества жидкости необходимы человеку для того, чтобы восполнить расход пота, потраченного на охлаждение тела.

3. Количество выпиваемой жидкости не превышает потребности человека в воде.

Глава VIII

ПОТРЕБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА В ВОДЕ В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ

Немногие стороны жизни в пустыне представляются в столь ложном свете, как вопрос о потребности человека в питьевой воде. Как только человек попадает в пустыню, он сразу замечает, что начинает пить воду чаще и при том в гораздо больших количествах (особенно во время еды), чем в условиях умеренного климата. Через некоторое время это увеличенное потребление жидкости делается обычным, перестает вызывать удивление, и если человек ежедневно не измеряет выпиваемую им воду, то ему может показаться, что потребность его организма в воде стала меньше, чем вначале.

Большинству людей известно, что человек пьет в пустыне больше потому, что он больше потеет. Известно также, что чем жарче день, тем больше воды нужно человеку, но насколько больше — обычно никто не знает.

Неспециалисты часто утверждают, что большое количество воды, выпиваемой за день людьми, выполняющими тяжелую работу на солнцепеке, является избыточным, что такие люди выпивают больше, чем им в действительности требуется. Это утверждение особенно поддерживается людьми сидячих профессий, которые проводят большую часть времени в помещении; хотя те, кто работает в помещениях с кондиционированным воздухом, заведомо плохие судьи в вопросе о потребности в воде в пустыне, ибо фактически они и не находятся в условиях настоящей пустыни.

Для каждого человека, путешествующего по пустыне, снабжение водой является наиболее важной проблемой, с которой он сталкивается всякий раз, когда удаляется на значительное расстояние от ее источника.

Доставка воды в пустыню является очень сложной проблемой. Поэтому чрезвычайно важно установить минимальную потребность человека в воде.

Неоднократно проводились испытания, ставящие своей целью выяснить последствия крайне ограниченного водного рациона и установить эмпирическим путем минимальное количество воды, необходимое солдату во время военных действий в пустыне. Для иллюстрации приведем два примера подобных исследований.

1. В конце сентября 1942 г. командам двух танков выдавалось только по 1,9 л воды в сутки на человека. В первый же день сол-

даты, получая так мало воды, не смогли выполнить своих обязанностей и получили разрешение пить вдоволь. Другие команды, получавшие по 3,8 л воды на человека в день, хотя и могли продолжать свою обычную деятельность в течение 4 дней, однако чувствовали себя плохо, работали менее энергично, чем обычно, и теряли в весе.

2. Три испытания были проведены в конце июля 1942 г. близ Фреды, Калифорния, на батальоне солдат полевого артиллерийского полка. Солдаты получили по 3,8 л воды на каждого, после чего были предприняты маневренные операции на машинах, которые продолжались до тех пор, пока не кончилась питьевая вода и солдаты почувствовали, что они не могут продолжать маневры дальше. Это было повторено дважды с другим количеством воды и при другой погоде. Оказалось, что человек способен работать только до тех пор, пока его водный дефицит не превышает 1,9 л. На основании этого был сделан вывод, что войска, участвующие летом в военных действиях в пустыне, должны снабжаться водой из расчета около 4 л воды на человека в день.

Пытаясь точно предсказать минимальную дозу воды, при которой сохраняется работоспособность, люди не имеющие личного опыта, естественно, стремятся занижить ее. Один полковник, убедившись в том, что придерживаться запланированного водного рациона будет опасно, пригласил своего генерала принять участие в операции, во время которой каждый из участников получил лишь около 2 л воды. За несколько часов вся вода была выпита, а самочувствие солдат оказалось настолько скверным, что заставило генерала признать такую экономию воды несовместимой с военными действиями.

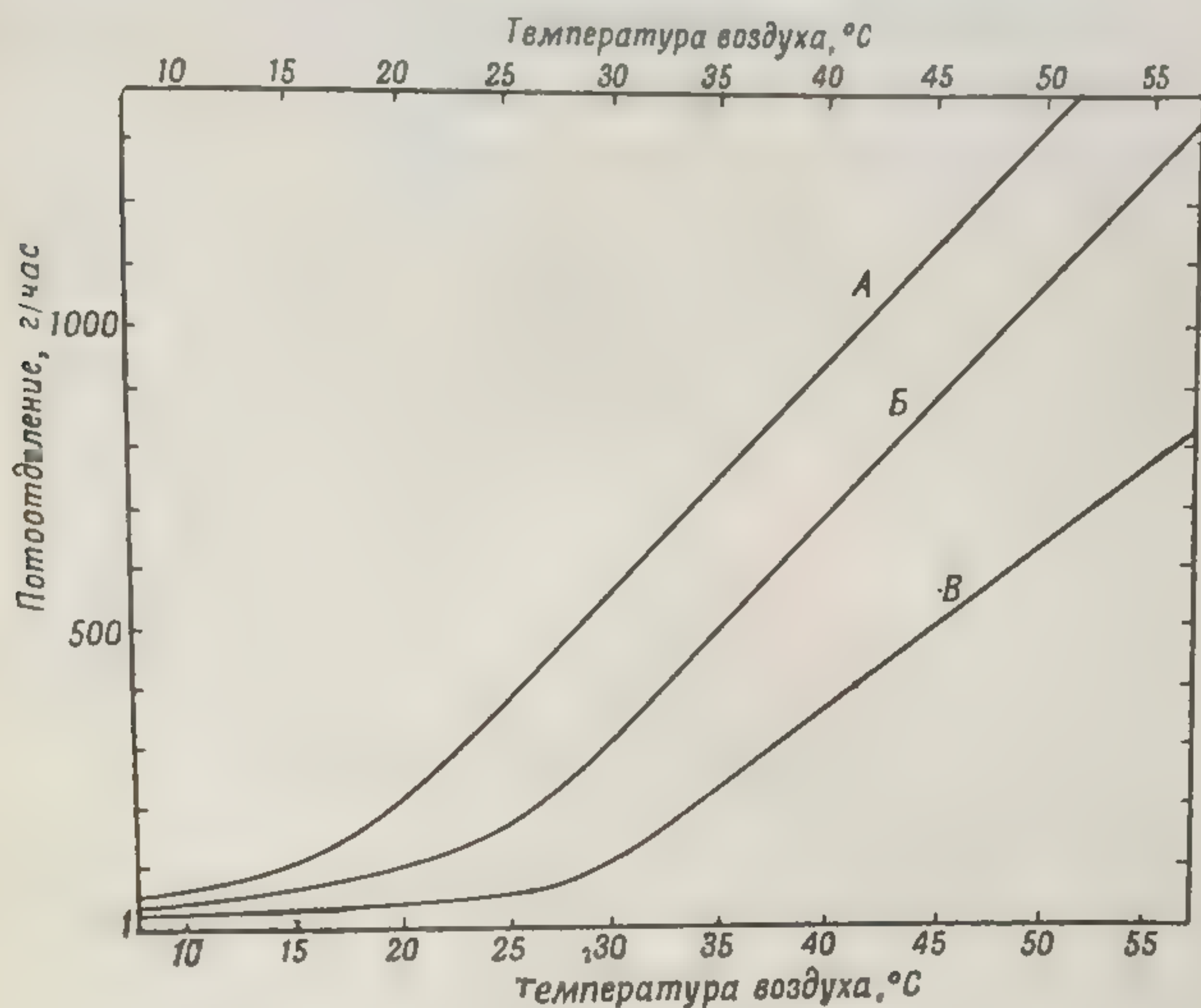
Факторы, влияющие на потребность человека в воде

Прежде всего надо было установить количество необходимой человеку воды и исследовать факторы, оказывающие влияние на потребность в воде.

Как указывалось выше, суточный водообмен у людей в условиях пустыни мы определяли путем измерения количества потребляемых ими жидкостей (включая, конечно, и жидкости, принимаемые вместе с пищей) и объем выделяемой мочи. Расход пота вычислялся нами как разность между количествами потребленной воды и выделенной мочи, так как поправки на изменения в весе тела за 24 часа обычно были крайне незначительны и ими можно было пренебречь.

Пользуясь этим методом, мы определили водообмен у пехотинцев, саперов, работающих под открытым небом, солдат, находящихся на маневрах (в танках и полугусеничных машинах), и членов нашей экспедиционной группы при выполнении ими различных

незначительное количество воды. Потеря воды с мочой относительно постоянна; мы можем вычислить средний суточный объем мочи и считать, что он практически не зависит от тех факторов, которые столь сильно влияют на размеры других потерь воды. Основная масса воды в условиях пустыни теряется путем испарения. Мы уже отмечали, что физическая работа, пребывание на

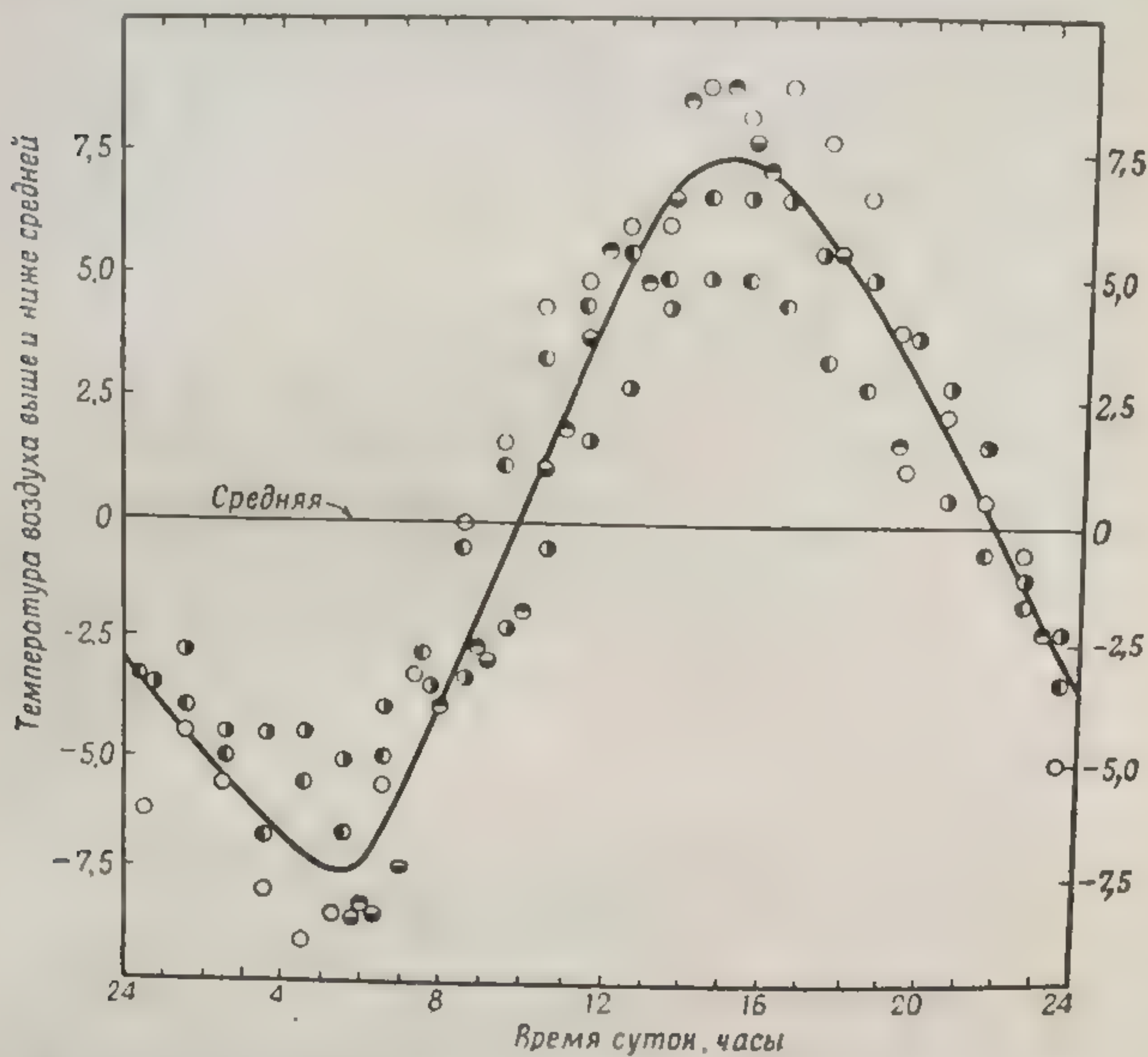


Фиг. 55. Зависимость между средней величиной потовыделения и температурой воздуха в пустыне. Данные фиг. 26 (несколько измененные) и сходные лабораторные данные других авторов. [1,2]. А — ходьба по солнцепеку; Б — ходьба ночью; В — покой в густой тени или ночью.

солнцепеке и температура воздуха влияют на величину потерь воды. Таким образом, мы располагаем всеми количественными данными, необходимыми для определения средней суммарной потери воды за сутки, а следовательно, и суточной потребности в воде в каждом конкретном случае.

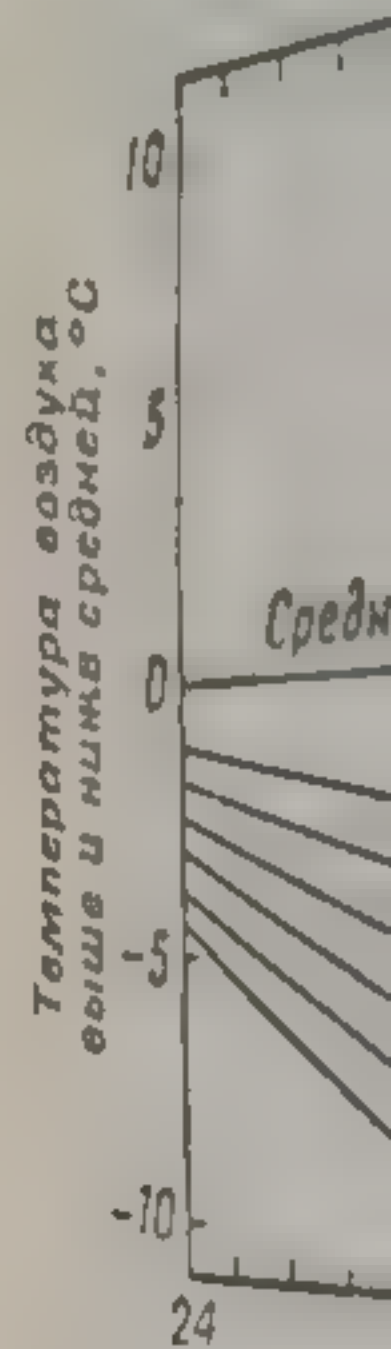
На фиг. 55 показана величина потовыделения при различных температурах воздуха, разной физической нагрузке и разной продолжительности пребывания на солнцепеке. На основании этих данных, а также данных фиг. 56 (суточные изменения температуры в течение пяти типичных летних дней в пустыне) можно вычислить количество выделяемого пота за каждый час дня и ночи при определенном режиме физической работы. Добавляя к общему количеству выде-

ленного за сутки пога средний объем суточной мочи (около 0,9 л), мы получаем суммарное количество расходуемой воды, эквивалентное количеству жидкости, которое человек должен выпить, выполняя определенную физическую работу в такой день, когда колебания температуры воздуха приближаются к колебаниям, указанным на фиг. 56.



Фиг. 56. Суточный температурный цикл в пустыне (за 5 дней). Температура измерялась в тени в стандартных условиях. Кривая изображает отклонения от средней суточной температуры (т. е. $\frac{1}{2}$ максимальной плюс $\frac{1}{2}$ минимальной). Одинаковыми значками обозначены измерения, проведенные в течение одного дня.

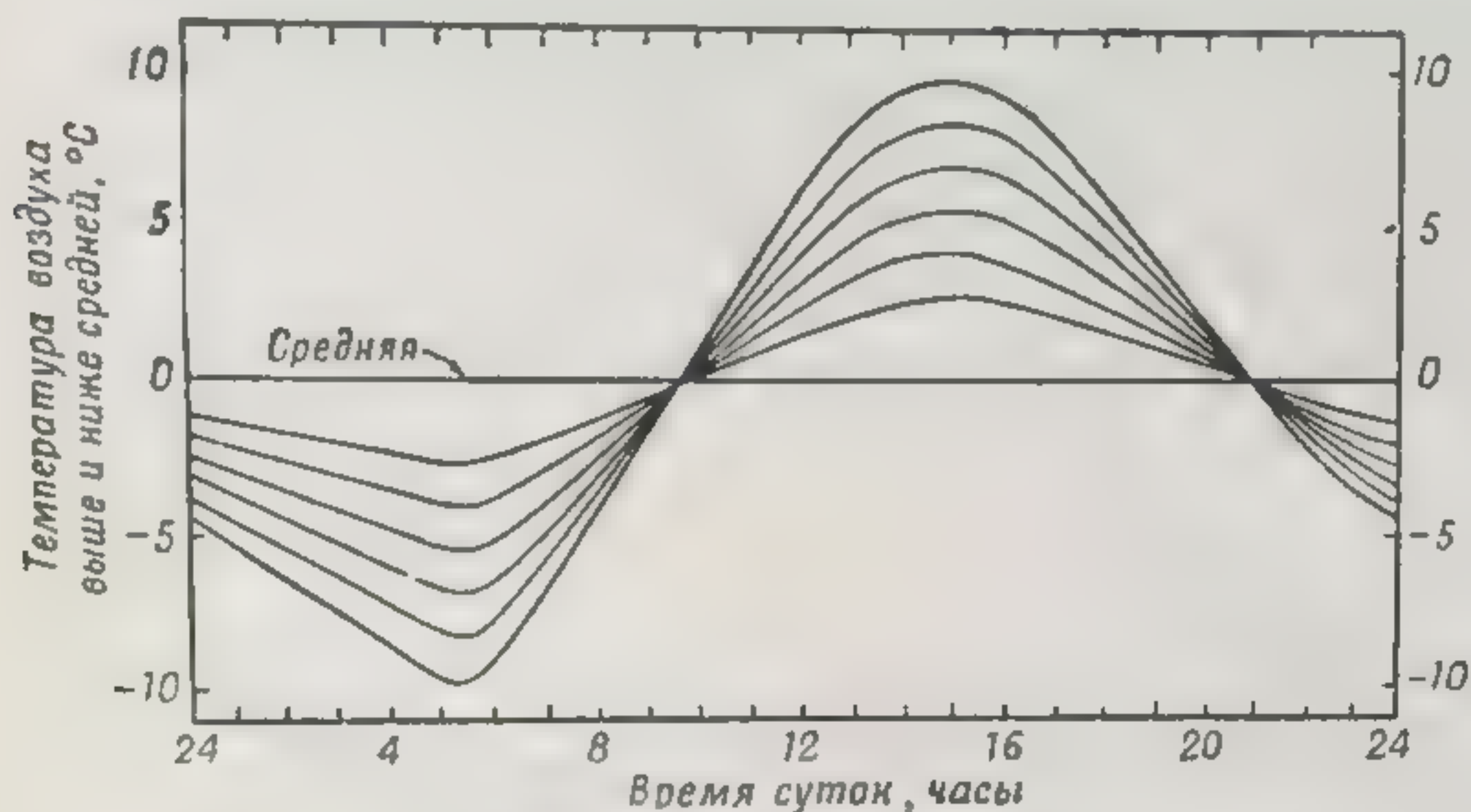
Выполнению этих расчетов для дней с иной температурой воздуха очень помогает неизменное постоянство дневного цикла нагревания и охлаждения воздуха. Так как в пустыне дни бывают большей частью совершенно безоблачными, то суточные температурные циклы различаются лишь по сезонам и местностям, причем главным образом в отношении границ колебаний и средних величин. Очевидно есть все основания в расчетах пользоваться суточным циклом изменений температуры, в котором, как это показано на фиг. 57, колебания температуры совершаются в различ-



Фиг. 57. С

физической работы и
вание в полном по
чения; 2) выполне
добыча со скорост
время — пребывание
боты средней тяже
Первый режим с
при любой температу
данных потребностей
для того, чтобы под
бате в ночное, а не
таться к этим дан
с которой сталкива
цельной воды (см.
К вычисленному
с потом воды добав
Употребляемый э
и минимальные
средние обычно ст
температура в пу

ных пределах, но вокруг общих средних величин¹. На основании каждой кривой, изображенной на этом графике, был вычислен цикл часовых изменений температур, соответствующих различным средним дневным температурам в пределах 10° — $48,8^{\circ}$. Для каждого из этих гипотетических суточных циклов изменения температуры воздуха (учитывались примерно все границы колебаний температуры и все средние температуры, которые могут встретиться в пустынях) был вычислен соответствующий цикл изменений величины потоотделения для следующих произвольно выбранных режимов



Фиг. 57. Суточный температурный цикл в пустыне.

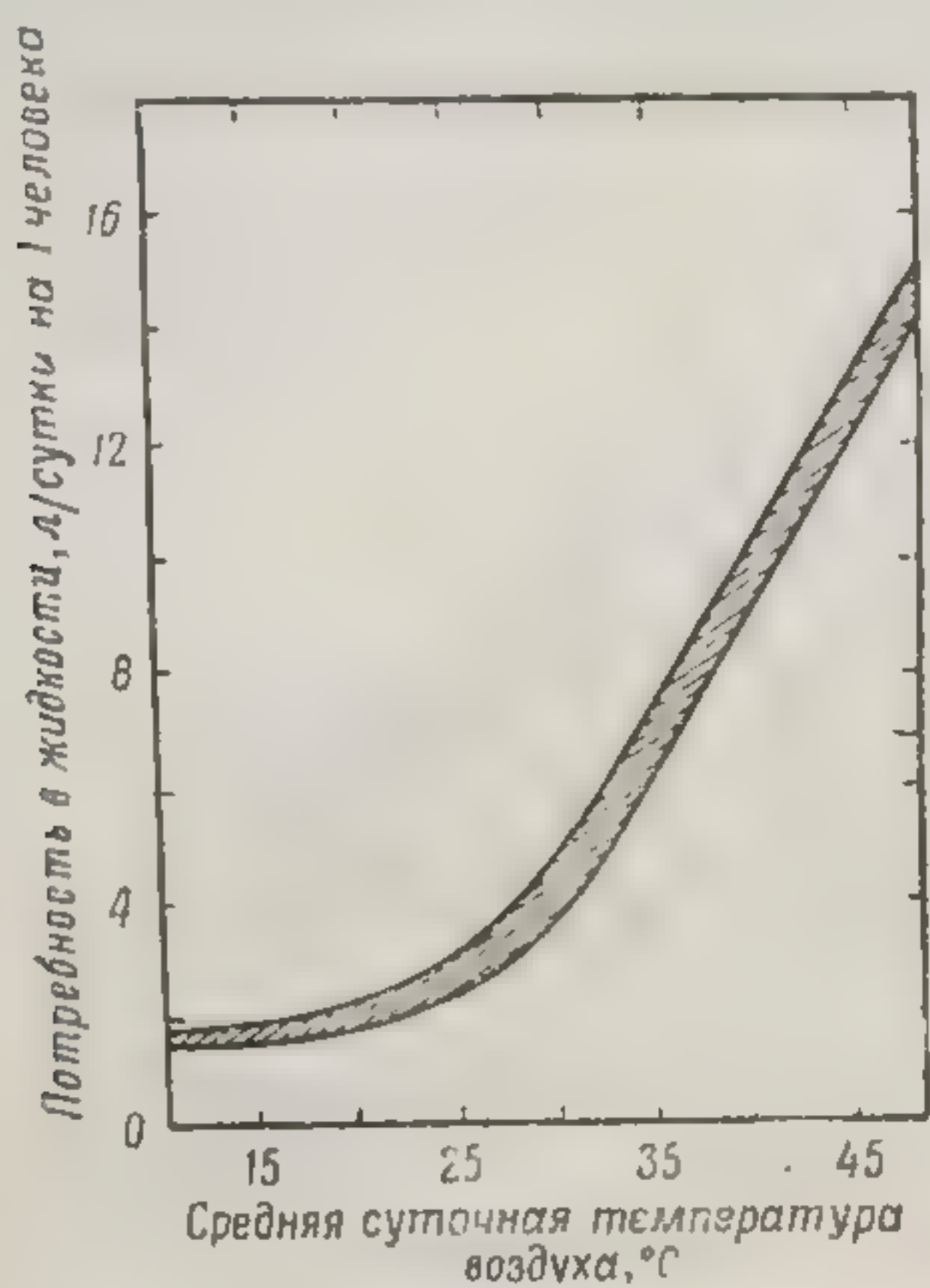
физической работы и времени пребывания на солнцепеке: 1) пребывание в полном покое в месте, защищенном от солнечного излучения; 2) выполнение работы средней тяжести на солнцепеке (ходьба со скоростью 4,8 км/час) в течение 8 час; остальное время — пребывание в тени или в помещении; 3) выполнение работы средней тяжести ночью в течение 8 час. и отдых в тени днем.

Первый режим соответствует минимальной потребности в воде при любой температуре воздуха; второй — максимальной из ожидаемых потребностей в воде и, наконец, третий специально введен для того, чтобы подчеркнуть снижение потребности в воде при работе в ночное, а не в дневное время. У нас еще будет случай обратиться к этим данным при последующем обсуждении дилеммы, с которой сталкиваются люди, оказавшиеся в пустыне без запаса питьевой воды (см. главу IX).

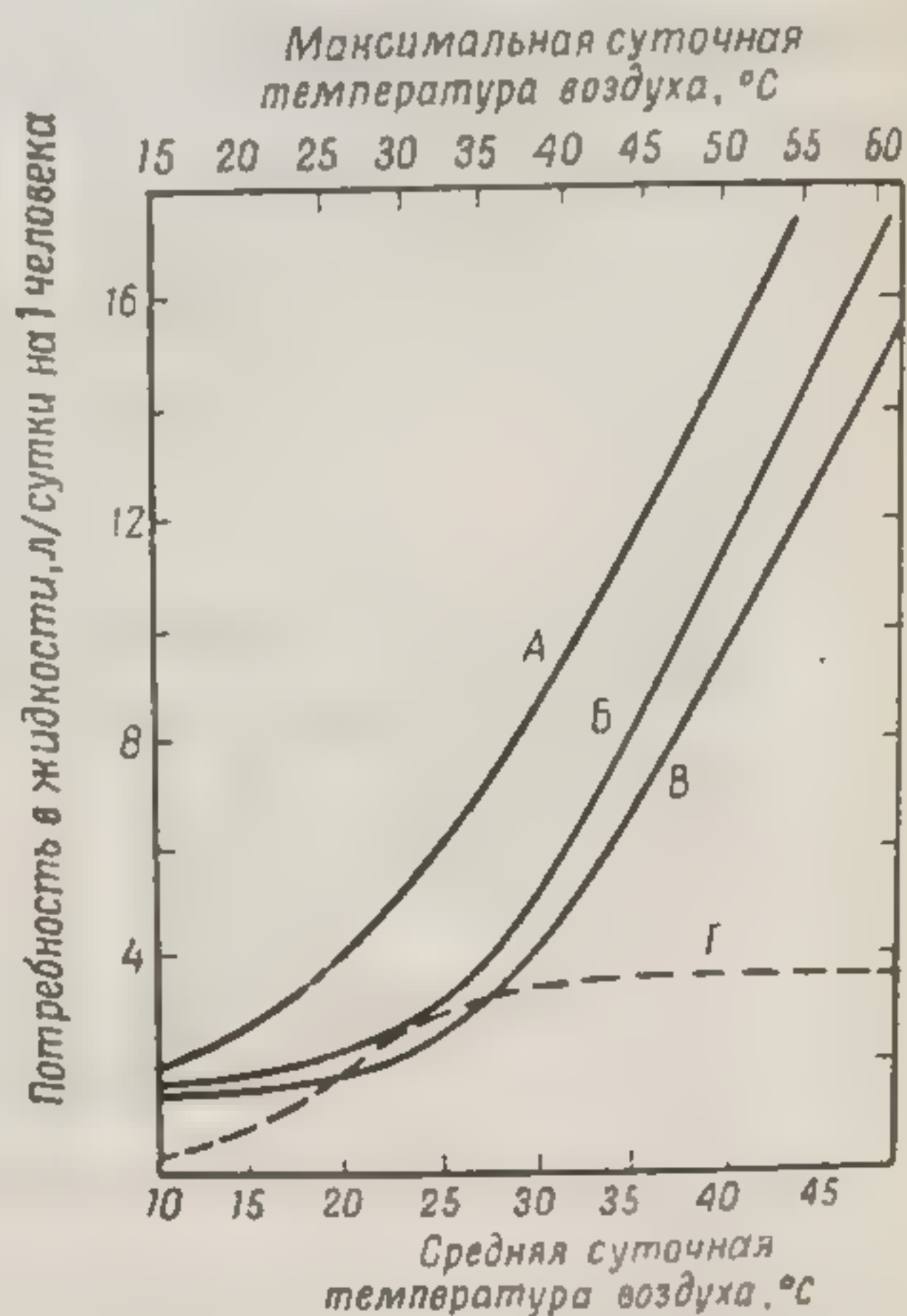
К вычисленному этим путем общему количеству расходуемой с потом воды добавлялось 0,9 л воды, выводимых с мочой. Полу-

¹ Употребляемый здесь термин «средние величины» обозначает средние максимальные и минимальные температуры в течение дня. Истинные или интегрированные средние обычно отличаются в пределах 0,5—1,0° от этих средних. Средняя дневная температура в пустыне на 8—10° ниже максимальной летней температуры.

ченные данные, нанесенные на график таким образом, что на оси абсцисс откладывается средняя суточная температура, а на оси ординат потребность в воде, укладываются в пределах узкой полосы, изображенной на фиг. 58. Так как в более прохладные дни суточные колебания температуры обычно меньше, а в более жаркие — больше, то ординаты, соответствующие полосе на фиг. 58, превышают потребности в воде, допускаемые для средних условий. Через



Фиг. 58. Зависимость между потребностью человека в воде и средней суточной температурой воздуха. При колебаниях дневной температуры воздуха в пределах $10-20^{\circ}$ потребность в жидкости составляет семейство кривых, лежащих внутри изображенной на рисунке заштрихованной полосы.



Фиг. 59. Зависимость между потребностью человека в воде, его активностью и температурой воздуха. А — тяжелая работа днем в течение 8 час.; Б — такая же работа ночью; В — отдых в тени; Г — экономия воды при ночной работе (А минус Б).

эту полосу можно провести одну линию и таким образом связать суточную потребность в воде только со средней температурой воздуха. Путем вышеуказанных расчетов можно определить количество воды, требующейся человеку при различных режимах работы (фиг. 59)

Определение потребности в воде путем расчетов

Зная суточные колебания температуры для определенной местности или сезона, при помощи данных фиг. 59 можно вычислить количество потребной для «среднего» человека жидкости с точностью, лимитируемой, в основном, только данными относительно

того, какую работу он должен будет выполнять. Верхняя кривая на фиг. 59 соответствует наибольшей потребности в питьевой воде; нижняя — наименьшей потребности, достигнутой в результате сведения до минимума физической деятельности и времени пребывания на солнцепеке.

Так, например, мы установили, что при средней дневной температуре $32,2^{\circ}$ человек должен выпивать минимум 5 л и максимум 10 л жидкости. Людям, не выполняющим никакой работы и находящимся большую часть дня в тени, достаточно 5—6 л воды. Тем, которые выполняют на солнцепеке работу средней тяжести, необходимо около 7—8 л, а тем, которые в тех же условиях работают с большим напряжением и в течение многих часов — нужно 9—10 л воды. В более прохладный день, когда температура воздуха в среднем равна $26,6^{\circ}$, количество требующейся человеку воды колеблется в пределах 3—7 л, причем ясно, что большая цифра соответствует потребностям людей, работающих на солнцепеке, а меньшая — потребностям людей, пребывающих в покое. Как показали исследования, проведенные в различных условиях, эти теоретические расчеты почти точно совпадают с фактическим водообменом.

На основании подобных данных и соответствующих метеорологических материалов были вычерчены географические карты, иллюстрирующие среднюю потребность человека в воде в условиях различных пустынь (приложение 1). Изготовленные таким образом карты всех пустынь мира показывают минимальную потребность в воде для всех жарких климатических поясов в «средние» дни самого жаркого месяца. Некоторые области пустынь с жарким, но не сухим климатом, включаются в категорию влажных тропиков, хотя при предсказании количества питьевой воды, необходимой для людей, выполняющих различную работу в условиях влажного климата, возникают некоторые затруднения. Однако поскольку потребность в воде людей, находящихся в состоянии покоя, заметно не меняется в зависимости от влажности, можно считать, что эти карты, в основном, отражают и потребность в воде людей, находящихся даже в тропических областях (при условии, что они не выполняют никакой работы).

Экономия питьевой воды в пустыне

В начале 1942 г. было предложено «обучить людей обходиться без воды». Это предложение основывалось на убеждении, что люди выпивают больше воды, чем им в действительности нужно. Однако по мере накопления опыта от этого плана постепенно начали отказываться, и, наконец, в 1943 г. недостаточное снабжение войск водой стало расцениваться как явная ошибка [3]. Эти изменения во взглядах по данному вопросу были вызваны, с одной стороны, множест-

вом несчастных случаев, произошедших из-за недостатка воды, а с другой стороны — итогом полевых экспериментов (проведенных как на отдельных испытуемых, так и на крупных воинских подразделениях), цель которых заключалась в том, чтобы установить, может ли человек при недостатке воды выполнять свои обязанности и сколько времени он может переносить отсутствие воды. Хотя те, кто раньше считал, что человека можно научить довольствоваться меньшим количеством воды, отказались от построения программ тренировочных мероприятий, необходимо было провести тщательные количественные исследования для выработки способов наиболее экономного использования имеющегося в наличии запаса воды.

Представление о том, что человек обычно выпивает больше, чем ему нужно, могло возникнуть вследствие предвзятого отношения к этому вопросу или же отсутствия соответствующего опыта. Те, кто был заинтересован в экономии воды, надеялись добиться ее путем лишения людей предполагаемого избытка воды. Всякий раз, когда человек (например, после приема большего количества пива), находится в состоянии пересыщения водой (overhydration), его почки удаляют из организма избыток воды в виде мочи очень низкой концентрации. Это имеет место даже в пустыне. Следовательно, пересыщение водой можно обнаружить по большому количеству мочи (полиурия) и ее низкому удельному весу. Однако нельзя априорно отбросить возможность того, что условия существования в пустыне побуждают человека к чрезмерному потреблению воды. Ниже (см. главу XVI) будет показано, что обычно имеет место как раз обратное: человек выпивает меньшее количество воды, чем то, которое он теряет за время работы между двумя приемами воды. Подобное обезвоживание организма имеет, несомненно, временный характер. Гипотезу об избыточном потреблении воды можно проверить путем измерения объема суточной мочи и ее удельного веса. Как мы уже сообщали, объем мочи в пустыне у человека меньше, чем в умеренном климате, а удельный вес мочи несколько выше (см. главу VI). Даже максимальные из отмеченных нами количеств выпитой воды не были избыточными, так как они не превышали необходимого человеку количества воды. Прекрасным примером этого может служить приведенный ниже суточный водообмен одного испытуемого¹.

Общее количество выпитой жидкости, л	10,81
Вода, л	6,17
Фруктовый сок, л	3,59
Кофе, л	0,70

¹ Испытуемый участвовал в устройстве стрельбищ (на солнцепеке): Измерения производились за сутки: с полудня 26 августа до полудня 27 августа 1942 г., максимальная дневная температура 40,5°.

Молоко, л	0,35
Общее количество мочи, л	0,87
Общее количество пота (вычислено), л	9,94
Удельный вес смешанных проб мочи	1,030

Практически испытуемому для удовлетворения его потребности в воде требовалось в сутки около 12 л жидкости, однако выделение мочи у него за это время было не очень обильным, и удельный вес ее не был необычно низким (что имело бы место в случае пересыщения водой); объем мочи и ее удельный вес находились в пределах нормы.

Нами было произведено большое количество таких анализов водного обмена у людей в условиях пустыни. Результаты их обсуждались в предыдущей главе. В табл. 18 мы даем только сводные данные полученных нами средних величин.

Таблица 18

СУТОЧНЫЙ ВОДНЫЙ ОБМЕН В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ
(проведено на 91 испытуемом)

Род жидкости	Количество жидкости, л	Стандартное отклонение
Принятая жидкость (среднее)	5,03	$\pm 1,67$
Выделенная моча	0,93	$\pm 0,49$
Выделенный пот (вычисленное среднее)	4,09	$\pm 1,53$
Удельный вес мочи (среднее)	1,0273	$\pm 0,0064$

Корреляция между приемом жидкости и выделением пота $+0,88$
Корреляция между приемом жидкости и выделением мочи $+0,15$

Считается, что в норме удельный вес мочи колеблется в пределах 1,020—1,030. Из серии собранных нами суточных проб мочи 85% имели удельный вес больше 1,020, а 87% — объем меньше 1,5 л. Это свидетельствует об отсутствии значительной полиурии и является доказательством того, что человек, находясь в пустыне, пьет не больше, чем нужно для удовлетворения его дневной потребности в воде. Другими словами, нельзя достигнуть экономии воды путем лишения человека «избытка» воды, так как его в действительности не существует.

Мнение о возможности сбережения части запаса питьевой воды часто основывается на представлении, что человек может сэкономить воду, теряемую с потом. Достаточно нескольких кратких замечаний для того, чтобы показать тщетность этих надежд. В сухой атмосфере пустыни большая часть выделенного пота остается невидимой, и поэтому многие живущие там люди считают, что они

очень мало потеют. Внезапное появление видимого пота, сопровождающее у некоторых людей приемы воды, представляет собой крайне незначительную и кратковременную избыточную потерю воды, вполне компенсирующуюся в дальнейшем. Однако именно это «рефлекторное потоотделение» поддерживает ошибочное и широко распространенное убеждение в том, что питье воды усиливает выделение пота и поэтому ведет к напрасному растрачиванию воды. Образование пота совершенно необходимо в условиях пустыни, ибо оно предохраняет организм человека от повышения температуры. Утверждать, что прием большого количества воды вызывает усиленное выделение пота — значит принимать следствие за причину.

Ценой повышения температуры тела, ухудшения морального состояния и снижения выносливости человек может сэкономить максимум 15% пота, поддерживая себя в хроническом состоянии дегидратации. Однако необходимо отметить, что даже эта экономия весьма сомнительна, так как при исследовании в полевых условиях оказалось, что независимо от того, находились ли испытуемые в состоянии дегидратации или нет, общее потребление воды за день было почти одинаковым (см. табл. 17). Можно несколько сэкономить воду за счет уменьшения количества жидкости, выделяемой с мочой. Однако это достигается также ценой некоторого обезвоживания организма. Диета с низким содержанием белков способствует этой экономии, однако таким путем можно сэкономить не больше 300—400 см³ воды в день. Мы придерживаемся того мнения, что неприятности, причиняемые хроническим состоянием обезвоживания организма, не искупают экономии 5 или максимум 10% выводимого за день из организма количества воды.

Уменьшение потребности в воде

Экономию воды следует проводить путем уменьшения потребности в ней и борьбы с излишним расходом ее. Снижение потребности в воде достигается уменьшением количества тепла, получаемого организмом, так как его отдача совершается, в основном, за счет испарения пота. Следовательно, потеря воды с потом может быть сокращена только путем уменьшения потребности в потоотделении. Так, например, приток экзогенного тепла может быть доведен до минимума путем использования любой возможности затенения и ношения одежды (в особенности шляпы или шлема), ибо одежда изолирует человека от горячего воздуха и предохраняет его от солнечной радиации. Теплопродукция же в организме человека может быть понижена только уменьшением физической деятельности. Верхний столбик на фиг. 33 изображает величину потоотделения, характерную для почти обнаженного человека, быстро идущего по солнцепеку в пустыне при темпера-

туре воздуха $37,7^{\circ}$. Главные факторы, способствующие потере воды испытуемым, могут быть дифференцированы друг от друга путем сравнения указанной величины потоотделения с потоотделением, происходящим при такой же температуре воздуха, но при менее напряженной физической деятельности и лучшей защите от притока экзогенного тепла. Около 20% расходуемой организмом воды можно сэкономить ношением одежды. На солнцепеке еще 40% можно сберечь перейдя от ходьбы к покою. Пребывание в тени экономит еще 15%. Натянутый брезент не только создает комфорт людям, но также и экономит ежедневно такое количество питьевой воды, которого хватает на 4 часа и более. Следовательно, при температуре воздуха $37,7^{\circ}$, сочетая различные факторы (одежда, тень, уменьшение физической деятельности), человек может, в крайнем случае, снизить величину потоотделения на 75%. Множество проведенных нами дополнительных сравнений потоотделения в различных условиях демонстрирует наличие, и других факторов, играющих в этом отношении важную роль.

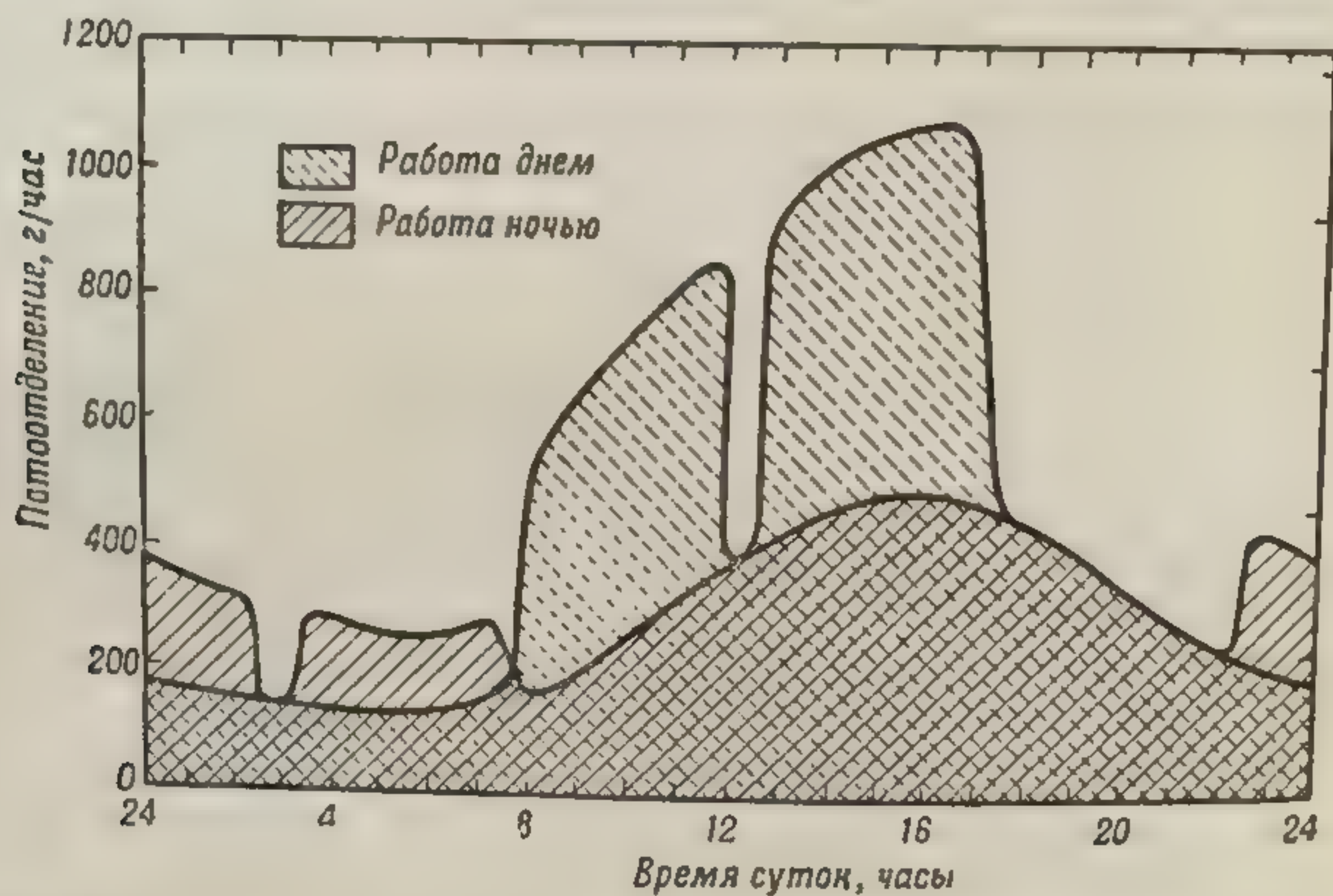
Температура поверхности почвы в пустыне днем обычно составляет $54,4^{\circ}$, но иногда может достигать 71° . Поверхность металлических предметов, например машин или самолетов, часто имеет еще более высокую температуру. Хотя интенсивность излучения от таких поверхностей и невелика, однако это излучение представляет собой важный источник экзогенного тепла вследствие относительно больших размеров таких поверхностей. Когда человек сидит прямо на горячем песке или камне, он получает большее количество тепла за счет проведения, а так как воздух, непосредственно соприкасающийся с почвой, сильно перегрет, то и приток конвекционного тепла в этом случае также значительно больше. Наши эксперименты показали, что испытуемые, сидевшие в тени на ящиках, сэкономили 100—200 г пота в 1 час; если же они сидели не на стульях или ящиках, а прямо на горячем песке, то выделение пота, вызванное непосредственным действием солнечной радиации, было больше, а средняя разница между потоотделением на солнце и в тени составляла 320 г пота в час.

Мы показали, что поза также является фактором, влияющим на величину потери воды организмом человека на солнцепеке. Так, экономия 150 г пота в 1 час была достигнута в том случае когда испытуемые сидели, вместо того чтобы лежать, вытянувшись на земле. Эта экономия является результатом не только различий в притоке тепла путем конвекции и проведения, ибо у сидящего человека облучаемая часть поверхности меньше, а следовательно, меньше и приток тепла за счет инсоляции.

По всей вероятности, солнечная радиация является наиболее важным фактором, влияющим на потоотделение, так как при сравнении величины последнего у испытуемых, лежащих на земле и в плетеных гамаках, обнаружилась только крайне незначительная

разница, не превышающая 40 г/час (среднее из двух экспериментов).

Однако нет никаких оснований считать, что если человек при помощи определенных мероприятий может сэкономить за 1 час 200 г пота, то он способен таким же путем сэкономить за сутки 24×200 г пота. Практически для нас представляют интерес способы, при помощи которых можно понизить дневную потребность человека в воде. Хотя в пределах суток описанная выше экономия оказывается гораздо менее значительной, все же она достаточно важна. Ее можно определить, суммируя ежечасные потери воды за



Фиг. 60. Суточное потоотделение в пустыне при выполнении одной и той же работы днем и ночью.

целый день и объем мочи, который остается почти неизменным в самых различных условиях. Таким путем мы установили, что, грубо говоря, разница в потере воды (и разница в потребности в воде), обусловленная действием солнечной радиации, может достигать 1—2 л в день, или, другими словами, 20—30% всей потребности в воде в летнее время в пустыне. Разница в потребности в воде, определяемая различием в физической нагрузке, несколько больше. Люди, выполняющие наиболее тяжелую работу, потребляют примерно на 4 л воды в день больше, чем люди, выполняющие самую легкую работу, т. е., иначе говоря, при физической нагрузке потребность в воде возрастает вдвое.

Ночная работа. Полная бездеятельность мало совместима с военными операциями. Поэтому важное практическое значение имеет способ экономии воды путем работы в ночное время. Таким образом, удастся избежать солнечной радиации и использовать все преимущества более низкой температуры воздуха. Если человеку

необходимо ежедневно напряженно работать в течение 8 час., то он сможет сэкономить больше воды, работая по ночам и отдыхая в дневное время. На фиг. 60 показана величина суточного потоотделения при двух разных режимах. Площадь, заштрихованная сплошными линиями (работа ночью), значительно меньше площади, заштрихованной пунктиром (работа в дневное время). Более подробные данные приведены в табл. 19.

Таблица 19

СУТОЧНЫЕ ПОТЕРИ ВОДЫ ПРИ ДНЕВНОЙ И НОЧНОЙ РАБОТЕ
(вычисленные данные)

Условия опыта	Работа днем	Работа ночью
Температура (°C):		
максимальная	40,5 (в тени)	40,5
средняя	32,2 (в тени)	32,2
Режим:		
работа	7 час. 30 мин.—11 час. 30 мин.	22 часа 00 мин.— 2 часа 00 мин.
еда	11 » 30 » —12 » 30 »	2 » 00 » — 3 » 00 »
работа	12 » 30 » —16 » 30 »	3 » 00 » — 7 » 00 »
сон и отдых	16 » 30 » —19 » 30 »	7 » 00 » —10 » 00 »
Количество выделенного пота, л	9,9	6,4
Объем мочи, л	0,9	0,9
Суммарный расход воды, л	10,8	7,3

«Среднему» испытуемому для выполнения тяжелой физической работы в самые прохладные часы ночи требуется примерно на $\frac{1}{3}$ меньше питьевой воды, чем в жаркое дневное время. При менее напряженной деятельности переход на ночную работу экономит пропорционально меньшее количество воды. На фиг. 59, иллюстрирующей зависимость между потребностью человека в воде, температурой воздуха и физической нагрузкой, эта экономия указана прерывистой линией. Экономия воды, достигаемая в результате перехода на ночную работу, составляет около 3,5 л в сутки или, другими словами, около 30—40% того количества воды, которое потребляет в день человек, выполняющий тяжелую физическую работу.

Ликвидация бесполезной траты воды. Наиболее многообещающие возможности действительной экономии воды заключаются, очевидно, в сведении до минимума количества воды, растрачиваемой впустую. Осуществление этой экономии представляет собой сложную и в каждом данном случае особую проблему.

Нельзя говорить о «среднем количестве воды, растрачиваемом впустую в условиях пустыни», так как излишние траты воды определяются различными обстоятельствами. Мы имеем все основания предполагать, что чем меньше воды имеется в распоряжении человека, тем меньшее количество ее будет растрачиваться впустую. И наоборот, если вода имеется в избытке, то люди будут тратить ее значительно свободнее. Людям, приученным к расточительному расходованию воды, нелегко привыкать экономить ее, когда они попадают в такие условия, в которых наличие воды может решать вопрос жизни и смерти. Поэтому можно привести много доводов в пользу системы обучения солдат обходиться в течение некоторого времени ограниченным водным рационом. Если такие ограничения производить разумно, то можно достигнуть значительной экономии воды. Однако следует отметить, что эта экономия, в основном, является результатом ликвидации излишнего расходования воды, а не уменьшения самой потребности человека в этой ценной для него жидкости.

Для иллюстрации условий, способствующих и препятствующих уменьшению напрасных трат воды, можно сравнить общее количество воды, расходуемой в лагере на различные нужды, с количеством воды, выпиваемой солдатами.

Приведенные ниже данные показывают, что в лагере (Кэмп Янг, Калифорния) с 16 до 29 мая 1942 г. на питье расходовалось воды в 6 раз меньше, чем на удовлетворение других потребностей [4].

Среднее число солдат в лагере	8 539
Максимальная суточная температура (средняя за месяц), °C	35,5
Количество воды, расходуемой для всех целей в день на 1 человека, л	26,6
Количество жидкости, необходимой для питья в день на 1 человека ¹ , л	3,2—4,4
Отношение количества выпиваемой воды к общему количеству расходуемой воды	1 : 7

В течение всего периода наблюдений вода подвозилась к лагерю специальным транспортом; после 29 мая 1942 г. был проведен водопровод и количество расходуемой воды возросло в 6 раз, что свидетельствует о недостаточном удовлетворении потребности в воде в 1942 г.

В противоположность этому войска, участвующие в сражении, расходуют на питье гораздо больше половины всей доставляемой им воды. Во время сражений отношение между количеством выпиваемой воды и воды, используемой на другие нужды, можно довести до 3 : 4 или 4 : 5, причем такое соотношение достигается приме-

¹ Определялось по данным фиг. 58.

нением крайних мер предосторожности против напрасной траты воды.

При обсуждении способов экономии воды вполне уместно остановиться еще на нескольких факторах, не оказывающих значительного влияния на потоотделение. Считается, что они изменяют потребность человека в воде, однако это не соответствует действительности. К таким факторам относятся: одежда, способ приема воды (отдельными порциями) и род напитков. По поводу этого мы должны сказать следующее. 1. Если человек носит легкую просторную одежду, то род и цвет последней имеет минимальное значение. 2. Не имеет никакого значения, выпивает ли человек, бывший в течение некоторого времени без воды, сразу большое количество воды или принимает то же самое количество маленькими порциями с небольшими интервалами. 3. Считают, что некоторые напитки обладают способностью утолять жажду. На самом деле они при приеме в больших количествах просто более приятны на вкус. Потребность же человека в воде остается неизменной независимо от того, пьет ли он холодный чай, лимонад, пиво или простую воду.

Испарение воды в целях кондиционирования воздуха

Разбирая вопрос об экономии воды в условиях пустыни, уместно остановиться на использовании воды для кондиционирования воздуха. В наши дни в помещениях, расположенных в пустыне, широко используются установки для охлаждения водой, часто применяемые и в автомашинах, на которых совершаются путешествия по пустыне. Даже закрытые военные машины (санитарные машины, танки) снабжаются такими установками. Можно ли оправдать расходование воды для кондиционирования воздуха в тех случаях, когда снабжение ею крайне затруднено? С точки зрения комфорта людей не может быть никакого сомнения в том, что кондиционирующие установки приносят пользу. Если в них можно использовать воду непригодную для питья, то их применение, безусловно, целесообразно. Если же такой возможности нет, то следует установить, в каком случае тратится меньше воды на предохранение человека от перегрева: при охлаждении при ее помощи воздуха в помещении или при выпивании этой воды и последующем испарении ее в виде пота? Понижение температуры воздуха на $5,5^\circ$ экономит у человека примерно 200 г пота в 1 час, или 3,3 г в 1 мин. Испарение 3,3 г воды в 1 мин. достаточно для охлаждения $1,133 \text{ м}^3$ воздуха на те же $5,5^\circ$. В танке, в котором находится 5 человек, величина обмена воздуха обычно в несколько раз превышает $5,665 \text{ м}^3/\text{мин}$. Следовательно, наилучший способ охлаждения человека при помощи воды — это испарение ее в виде пота с поверхности кожи.

Использование воды для кондиционирования воздуха способствует поддержанию комфорта, но не дает экономии в расходовании воды.

В конечном итоге, мы считаем необходимым сделать следующие замечания.

1. В жаркие летние дни в пустыне можно избежать обезвоживания организма и сопутствующего ему понижения работоспособности только быстрым приемом воды. Эта вода не растрачивается в результате избыточного потоотделения и не увеличивает чувства жажды до размеров, превышающих потребность организма в воде. Человек, находящийся в жаркой атмосфере, потеет независимо от того, пьет он или нет; воздержание от приема воды ведет к тому, что позднее приходится возмещать создавшийся водный дефицит. Следовательно, такая экономия носит временный характер и в дальнейшем полностью погашается.

2. Горячий и сладкий чай может поднять настроение, но вряд ли обладает какими-либо физиологическими преимуществами перед простой водой. Курение не влияет на потребность человека в воде.

3. В среднем 4,5 л воды в день достаточно для удовлетворения всех потребностей человека (в условиях северного побережья Африки, где средняя дневная температура в самый жаркий месяц года равна 26,6°).

Как показывает фиг. 59, для удовлетворения только минимальной потребности в питье человеку требуется около 2,7 л воды в день. Напряженная физическая деятельность увеличивает это количество до 6,3 л (для боевых условий в среднем 3,5—4,5 л).

Выводы

На основании всех данных, касающихся экономии воды, можно сделать следующие выводы.

1. Человеку необходима вся вода, которую он выпивает. До тех пор пока он ощущает жажду, лучше дать возможность его организму использовать эту воду, чем хранить ее во фляжке.

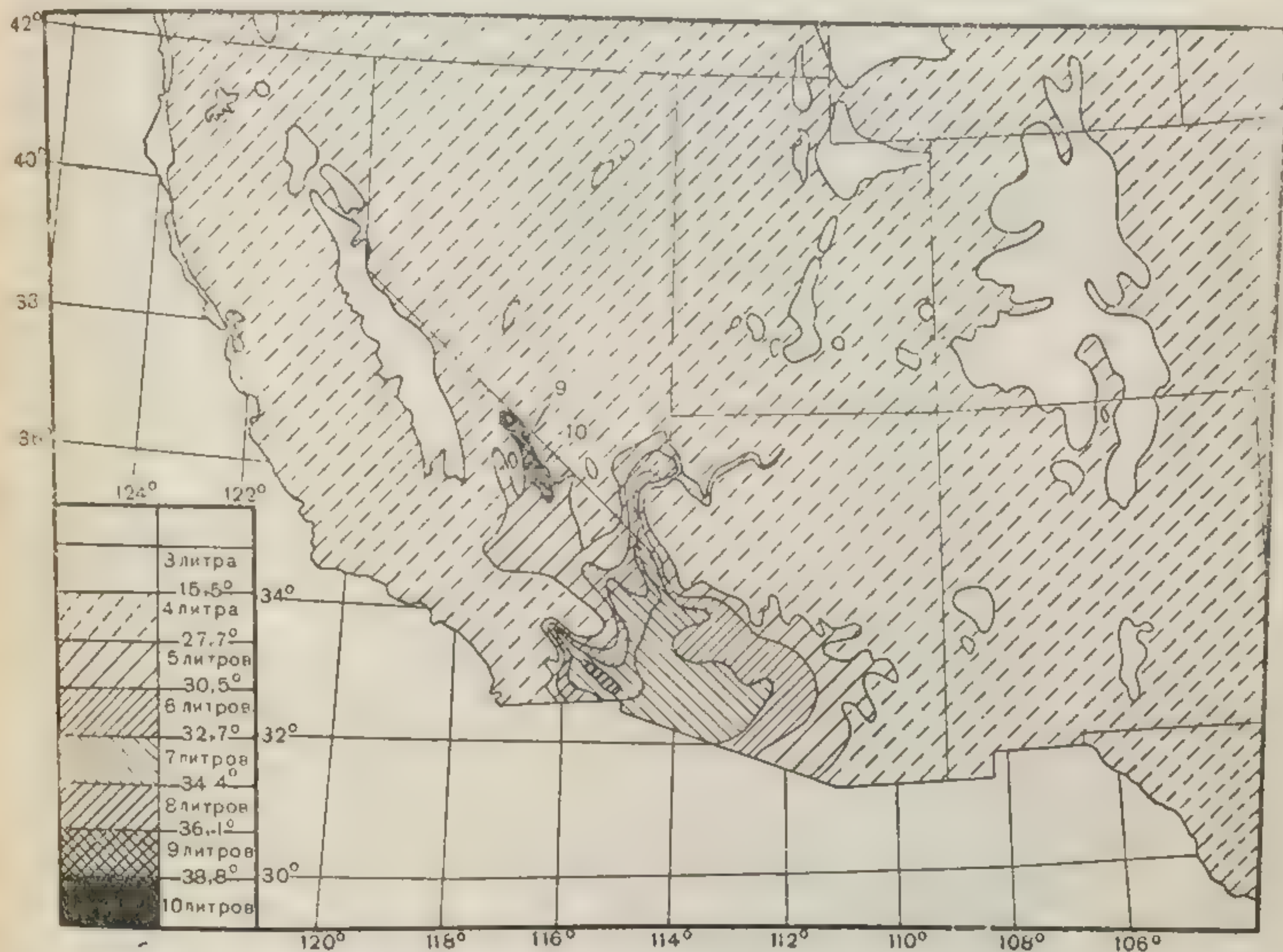
2. Выделение пота в том количестве, в котором оно обычно происходит, необходимо для сохранения работоспособности и здоровья.

3. Потребность человека в воде определяется его местонахождением, временем года, выполняемой им работой и размерами его тела.

4. Ограничение количества питьевой воды не приносит никакой пользы. Человека нельзя приучить довольствоваться малым количеством питьевой воды, но его можно приучить не растрачивать ни капли той воды, которая может быть выпита, и избегать излишней работы и ненужного пребывания на солнцепеке.

5. Наличие пота на коже или одежде не является показателем интенсивности потоотделения у человека в условиях пустыни.

6. У людей, акклиматизировавшихся в условиях пустыни, в сходных обстоятельствах выделяется одинаковое количество пота. В этом отношении не обнаружено значительных различий среди людей одинакового роста и выполняющих одинаковую физическую нагрузку.



Фиг. 61. Северная Америка (юго-западная часть США). Суточная потребность в воде в самый жаркий месяц года (июль).

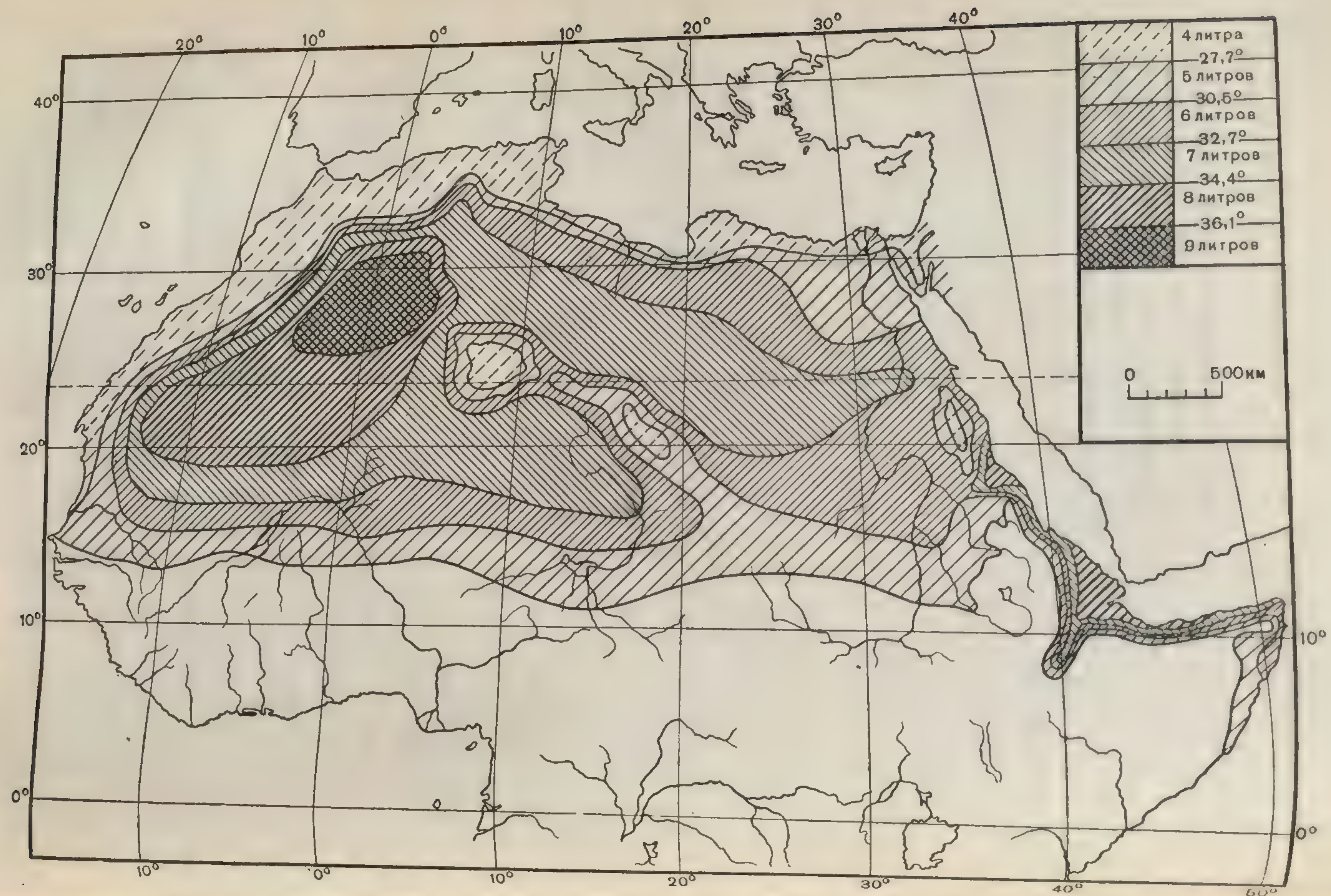
7. На солнцепеке в пустыне одежда способствует экономии пота.

8. Питье не увеличивает потоотделения, хотя и может вызвать кратковременную рефлекторную его стимуляцию.

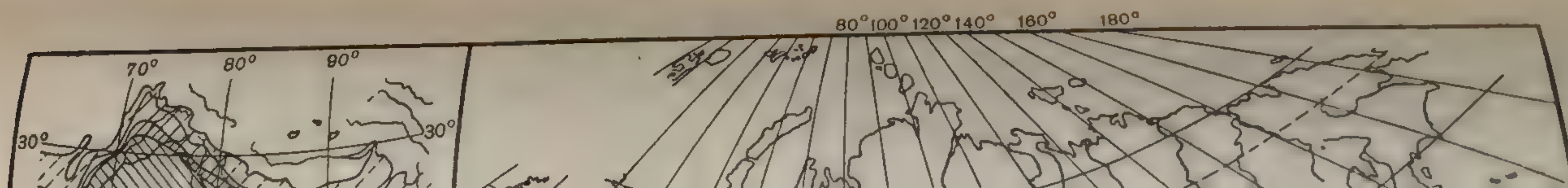
9. Человек, который пьет во время работы, потребляет, в конечном итоге, не больше воды, чем тот, который воздерживается от приема воды до окончания работы.

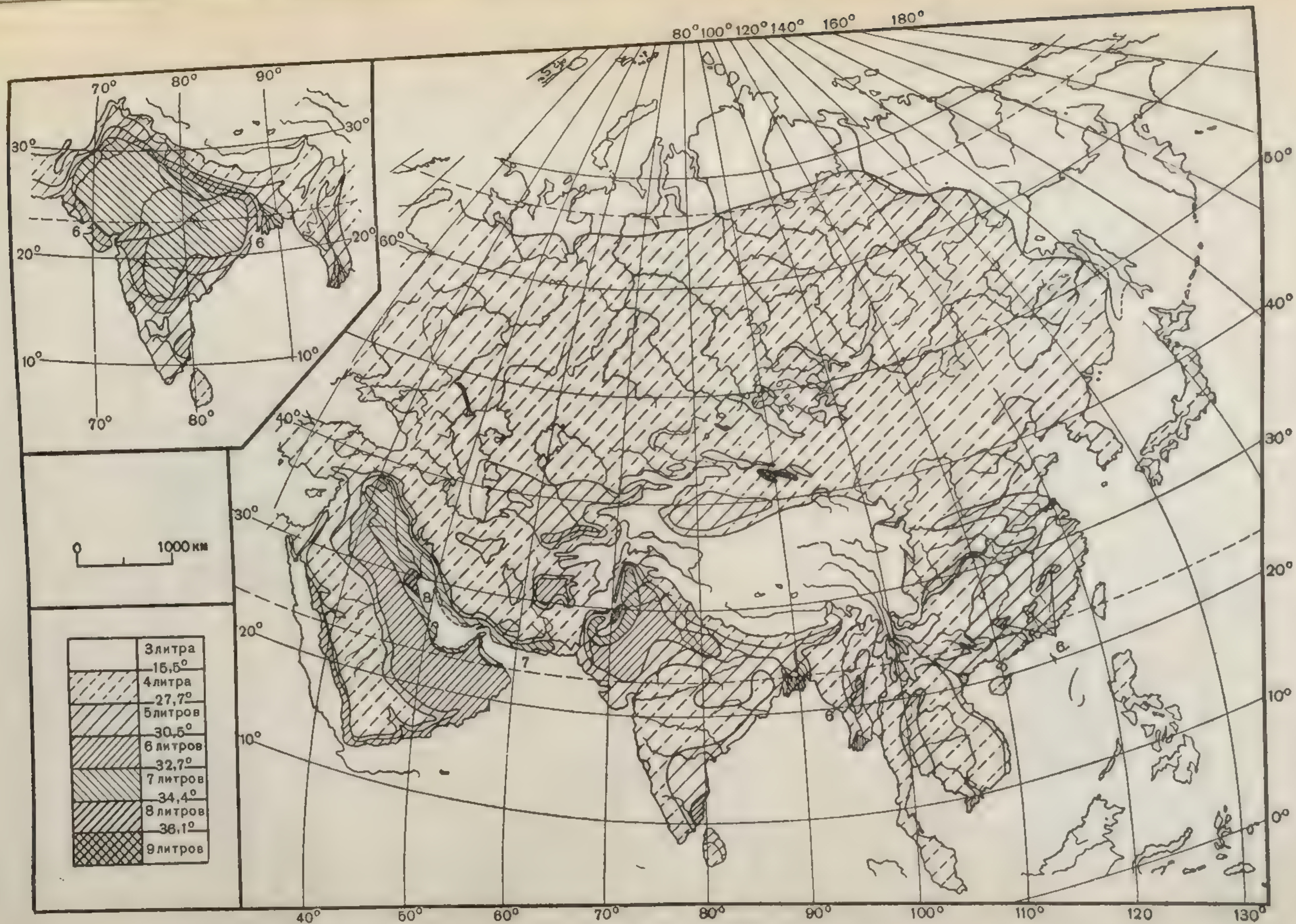
10. Потребление соли можно рекомендовать только при наличии избыточного количества питьевой воды. Этого нужно придерживаться, даже если люди находятся в состоянии истощения.

11. Единственным разумным способом экономии воды является устранение по мере возможности самой необходимости в выделении пота. Практически наиболее реальны следующие способы экономии

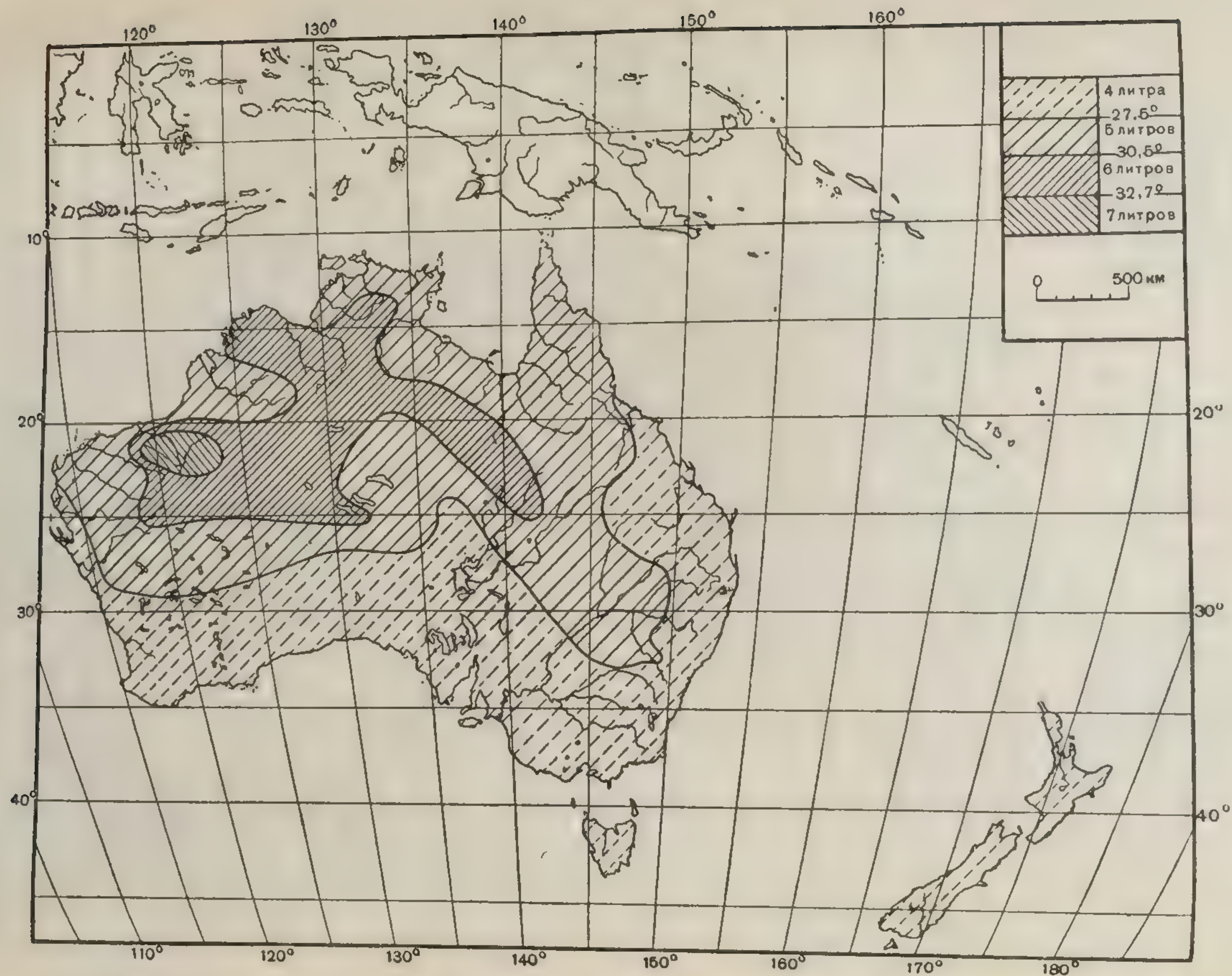


Фиг. 62. Северная Африка. Суточная потребность в воде в самый жаркий месяц года (июль.)





Фиг. 63. Азия. Суточная потребность в воде в самый жаркий месяц года (июль). Слева вверху — Индия (май).



Фиг. 64. Австралия. Суточная потребность в воде в самый жаркий месяц года (январь).

на ф
для под
в пусть
на к
в самы
солдату
полните
потребу
по дан

1. H. O. V.
2. W. i
3. U.
4. Day

воды: изменение режима работы (использование для работы наиболее прохладного времени) и устранение напрасных расходов воды.

На фиг. 61—64 показано среднее количество воды, необходимое для поддержания жизни одного человека в самый жаркий месяц в пустынях разных континентов.

На картах указано среднее количество воды, необходимое в сутки в самый жаркий месяц года человеку, находящемуся в покое. Солдату, участвующему в маневрах на машинах, необходимо дополнительное количество воды. При ходьбе в течение 8 час. в день потребуется вдвое большее количество воды. Карты вычерчены по данным фиг. 59.

ЛИТЕРАТУРА .

1. Houghten F. C., Teague W. W., Miller W. E., Yant W. P., *Heating-Piping*, 3, 493 (1931).
2. Winslow C.-E. A., Herrington L. P., Gagge A. P., *Am. J. Physiol.*, 120, 1 (1937).
3. U. S. War Department. Office of the Surgeon General. Circular letter, № 119, July 3, 1943.
4. Daily Bulletins, Adjutant General's Office, Headquarters, Desert Training Center, Camp Young, Calif., 1942.

Глава IX

НЕДОСТАТОК ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ

Достаточный запас воды является основной предпосылкой возможности жизни человека в пустыне. Как в мирное, так и в военное время деятельность человека в пустыне определяется этим запасом. Когда человек оказывается в условиях пустыни без воды, последняя становится столь же ценной, как и сама жизнь.

Существует множество рассказов о путешественниках, оставшихся в пустыне без воды. Но подобные происшествия случаются не только в просторах Сахары и в других скудно заселенных и мало известных пустынях или степях, а и в хорошо исследованных пустынях юго-западной части США, где путешественник редко может оказаться удаленным более чем на 65 км от дороги или источника воды и всегда может при помощи самолета очень быстро очутиться на одном из полевых аэродромов.

Результаты нашего первого исследования (конец августа 1942 г.) удивили нас. Трое из нас, пройдя расстояние 13 км, достигли полного истощения, хотя вышли в хорошем физическом состоянии. Мы хотели совершить этот переход без воды только в виде опыта, и поэтому ни один из нас не выпил всей воды из своей литровой фляжки. В то время нам еще не было ясно то, что стало совершенно очевидным впоследствии, а именно, что только вода могла бы устранить наступившее истощение. Этот поход дал нам первое наиболее яркое доказательство того, что человек может прийти в состояние полного физического истощения, не испытывая при этом невыносимых страданий от жажды.

Как правило, недостаток воды представляет собой непредвиденное обстоятельство и подвергает риску лишь несколько человек. Суметь предсказать последствия и предписать меры, при помощи которых можно было бы повысить шансы на выживание людей, оказавшихся в самых различных критических ситуациях, — проблема, достойная исследований физиологов. Наши практические интересы сводились к тому, чтобы сохранить у человека способность двигаться, ибо до тех пор, пока он не утратил этой способности, он имеет шансы на спасение.

Есть ряд вопросов, на которые можно ответить, лишь обладая знанием условий пустыни или результатов соответствующих научных исследований. Какие именно трудности испытывает человек, идущий

без воды в пустыне? Что нарушает его выносливость — жажда, усталость или бредовое состояние? Имеет ли какое-нибудь значение то, как он выпивает оставшуюся у него воду? Следует ли сразу же, как только начинаются затруднения с водой, устремляться к месту, где она имеется? Нужно ли рекомендовать людям, совершающим пешные переходы, нести с собой воду или же вызванный этим дополнительный расход пота и сил ликвидируют все преимущества добавочного количества воды? Как велико значение пищи по сравнению с водой? Нужно ли «переполнять» себя водой, выпивая перед началом похода больше, чем хочется? Какое расстояние могут пройти люди, не имеющие с собой воды? В каких случаях следует лучше ждать спасения, чем пытаться пешком добраться до безопасных мест? Есть ли какие-нибудь врожденные различия в индивидуальной способности переносить недостаток воды?

Обычно подобные вопросы не представляют большого интереса, однако они становятся делом жизни и смерти для пассажиров машины, потерпевшей аварию в пустыне, для экипажа самолета, сделавшего вынужденную посадку далеко от дороги или от обитаемых мест, и для командиров, которые должны решить, могут ли люди осуществить тот или иной маневр, имея в своем распоряжении ограниченный запас воды. Мы попытаемся ответить на эти вопросы, основываясь на результатах наших исследований выносливости солдат и научных работников-физиологов во время пеших переходов в пустыне (на военных маневрах) с водой и без воды. Значительная часть данных была получена в результате испытаний, проведенных в течение 6 пеших переходов, совершенных солдатами (131 человек) в сентябре 1942 г. и в июле 1943 г., и 43 испытаний в течение 12 переходов, совершенных нами самими летом 1942 и 1943 гг. Материалы, полученные во время всех этих пешеходных испытаний приводятся в табл. 20. Кроме того, в течение этих же двух лет в полевых условиях нами было проведено несколько десятков более коротких и менее изнурительных испытаний. Результаты этих экспериментов мы будем далее касаться всякий раз, когда их данные будут иметь отношение к обсуждаемым вопросам.

Во время переходов, приводящих к обезвоживанию организма, участники испытания, сопровождаемые научными сотрудниками-физиологами, обычно шли по дороге или тропинке, передвижение по которым было совсем легким или только несколько затрудненным из-за рыхлого песка. В течение одного дня испытуемые двигались с одинаковой скоростью, но в разные дни скорость варьировала в пределах 4,5—6,5 км/час. Ночью переходы совершались с меньшей скоростью. Во время каждого испытания примерно половина участников пила сообразно желанию имеющуюся в их фляжках воду, а другая половина воздерживалась от питья. Идущих сопровождала грузовая машина, на которой находились весы и запас воды, причем каждый час фляжки снова наполнялись

Таблица 20

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕШЕХОДНЫХ ИСПЫТАНИЙ, СОВЕРШЕННЫХ
В ПУСТЫНЕ в 1942 и 1943 гг.

Дата	Число испытуе- мых	Продолжитель- ность экспе- римента, часы	Пройденное расстояние, км	Максимальная температура воздуха, °С
23.VIII 1942 г.	3	4	11,2	38,8
25.VIII	4	3	9,6	—
27.VIII	6	4	14,4	40,5
31.VIII	1	2	9,6	38,3
2.IX	4	4,5	13,3	40,5
8.IX	4	2	12,8	39,4
10.IX	22	4,5	17,1	36,6
12.IX	4	4	20,8	37,7
13.IX	1	4	20,8	40,0
16.IX	22	4	19,2	43,3
17.IX	23	4	19,2	39,4
18.IX	22	4	19,2	40,0
26.IX	10	10	36,8	30,0 (ночь)
28.IX	20	5,5	19,2	36,1
30.IX	22	8	33,6	34,4
28.VI 1943 г.	2	2,5	9,6	42,2
1.VII	4	4	16,0	38,3
8—9.VII	9	19	32,0	32,2 (ночь)
8—9.VII	9	19	14,4	45,5

водой и все испытуемые взвешивались, а те, которые чувствовали себя не способными продолжать путь, ехали дальше на грузовике. Периодически регистрировалась температура воздуха, а в некоторых экспериментах у испытуемых измерялась частота пульса и ректальная температура. Мы уговаривали испытуемых продолжать эксперимент до тех пор, пока они были в состоянии двигаться. Истощение определялось по явной неспособности продолжать ходьбу с установленной скоростью. Испытуемые освобождались от продолжения эксперимента в тех случаях, когда они приходили в состояние истощения, повреждали ноги или просто падали духом (см. табл. 20). Совершенно естественно, что персонал нашей лаборатории проявлял во время эксперимента максимальную выдержку. Поскольку показания наших сотрудников были, как правило, значительно более точными, они имели особую ценность при классификации субъективных симптомов истощения.

Для того чтобы установить выносливость человека при передвижении его в пустыне пешком без воды, мы прежде всего должны были выяснить, определяется ли она полностью обезвоживанием организма или последнее представляет собой только один из влияющих на нее факторов. Испытуемые, организм которых находился в состоянии дегидратации, кроме жажды обычно жаловались на плохое самочувствие. К нашему удивлению, ощущение сухости

Горявления обезвожив

При обезвоживании ор

ское состояние людей;

нашим физиологическим

реакции на обезвожива

сперимента, можно состав

дневников наблюдателей.

испытуемыми, находящими

салась под контролем набл

ные нами отрывки из этих

характеризуют и психичес

рассказавших дегидратацию

Шли всю ночь (через

с. утра. Первые два час

что сильно затрудняло

были сонными и по

и большим тру

и пошли неми

Все очень устали

Большей частью мы

и в волдыри, котор

ой боли... Все счита

облегчение. Идти бы

очень обильно. Ног

утра Дж. начал

явно в тяжелом со

а 5 мин., а затем пыта

Движение было чисто

вой боли. Жажда была

Дж., М и Ц. отказали

продолжать путь,

рыено в течение 50 ми

ле... Б. и Х. по

во рту, как правило, не относилось к категории наиболее серьезных жалоб. Объективные признаки мышечного утомления проявлялись, хотя и в различной степени, как у людей, получавших воду, так и у лишенных ее. Сначала нам было трудно истолковать все субъективные симптомы. Пресжде всего нам нужно было проанализировать все трудности, с которыми сталкивались испытуемые, определить причину наступающего истощения и выяснить роль водного дефицита в возникновении коллапса.

Проявления обезвоживания организма во время походов

При обезвоживании организма огромное значение имеет психическое состояние людей; в некоторых испытаниях оно даже мешало нашим физиологическим исследованиям. О том, как испытуемые реагировали на обезвоживание организма на протяжении всего эксперимента, можно составить представление по выдержкам из дневников наблюдателей. Часть заметок была сделана самими испытуемыми, находящимися в состоянии дегидратации, часть писалась под контролем наблюдателей, получавших воду. Приводимые нами отрывки из этих заметок достаточно показательны; они характеризуют и психическое состояние большинства людей, испытывавших дегидратацию.

«Шли всю ночь (через каждый час — 10-минутный отдых) до 7 час. утра. Первые два часа шли по песку, развороченному танками, что сильно затрудняло передвижение. Делали едва 3 км/час. Люди были сонными и после каждого привала поднимались все с большим и большим трудом. После восхода солнца люди слегка оживились и пошли немного быстрее... Мы шли со скоростью 5 км/час. Все очень устали, но были в хорошем моральном состоянии. Большею частью мы шли в полном молчании. Р. натер на обеих пятках волдыри, которые, однако, при ходьбе не причиняли сильной боли... Все считали, что жевание резинки приносит некоторое облегчение. Идти было очень жарко... Пот выделялся у нас чрезвычайно обильно. Ноги устали, болели бедра и икры. В 8 час. 45 мин. утра Дж. начал жаловаться на судороги в левом бедре; он был явно в тяжелом состоянии. Мы сделали остановку примерно на 5 мин., а затем пытались продолжать путь. Дж. не смог идти дальше».

«Движение было чисто механическим и поддерживалось только силой воли. Жажда была наиболее острой в первые часы... К концу похода ощущение жажды несколько уменьшилось».

«Дж., М и Ц. отказались идти дальше. Б. объявил о своем намерении продолжать путь, и это ободрило Х., заставив его также попробовать идти дальше. Х. объявил, что он не может идти непрерывно в течение 50 мин. Б. убеждал его, что он может выдержать дольше... Б. и Х. пошли дальше совсем медленно. Ноги в порядке.

моральное состояние неплохое. Когда снова двинулись в путь, усталость стала несколько меньше. Бодрость быстро возвращалась к нам. Двигались механически и очень медленно. Пройденное расстояние, очевидно, было совершенно ничтожным, но нам казалось, что механическое движение может продолжаться неопределенно долгое время. Однако мы боялись остановиться, чтобы не нарушить выработавшийся автоматизм движений. Приятно было лежать в тени, хотя тень от колючих кустов была слабой, а почва — неровной, с уклоном. Вообще — минимум удобств. Мы лежали ничком, или сидели сгорбившись. С течением времени мучения, причиняемые жарой, все возрастали; в конце они стали очень острыми».

«К. был совершенно истощен, Б. устал сильнее, чем можно было ожидать. П. и Р. угрожали, что не пойдут дальше. Дж. сказал Р: «Все это надо прекратить и дать нам хотя бы страдать спокойно».

«С 16 час. 30 мин. до 16 час. 40 мин. я чувствовал себя прекрасно и думал, что смогу еще много часов идти дальше. В 16 час. 45 мин. я почувствовал, что ноги у меня ослабели, походка сделалась неуверенной, стало трудно двигаться дальше. В 16 час. 50 мин. у меня было только одно желание — сесть. Перестать двигаться казалось гораздо важнее, чем напиться».

Не все испытуемые одинаково реагировали на обезвоживание организма. Некоторые стали раздражительными и несговорчивыми, другие шли, не произнося ни слова и ни на что не реагируя. Одни сильно страдали от жажды, другие значительно меньше. У некоторых появились боли в кишечнике или солнечном сплетении; отдельные испытуемые жаловались на сильную головную боль. Некоторые страдали от тошноты, у одного началось носовое кровотечение. У многих совершенно ясно проявлялось физическое истощение (мышечная слабость). О разнообразии патологических симптомов, появляющихся у людей, выносливость которых подходила к концу, ясно свидетельствуют показания 16 испытуемых субъектов, участвовавших 9 июля 1943 г. в походе; каждый испытуемый получил для питья только по одной фляжке воды, которой он мог пользоваться по своему усмотрению. Испытуемым была указана конечная цель похода, которой в более прохладную погоду можно было бы достигнуть примерно через 12 час., но, поскольку максимальная температура воздуха в день эксперимента равнялась $45,5^{\circ}$, ни один из идущих не достиг цели раньше чем через 19 час. В конце эксперимента все испытуемые подверглись опросу с целью выяснения их ощущений.

В табл. 21 приведены результаты этого опроса и указана частота проявления различных патологических признаков и симптомов.

Тот, кто никогда не испытывал недостатка воды в условиях пустыни, может быть удивлен тем, что некоторые из этих симп-

Таблица 21

ПОКАЗАНИЯ 16 ИСПЫТУЕМЫХ, УЧАСТВОВАВШИХ В ПОХОДЕ БЕЗ ВОДЫ

Жалобы или симптомы	Число зарегистрированных жалоб или симптомов	Число зарегистрированных жалоб или симптомов, % к общему числу испытуемых	Симптомы, послужившие основной причиной выбывания из строя, число случаев	Второстепенные симптомы, число случаев
Мышечное утомление . . .	13	81	5	7
Жажда	11	69	3	3
Тепловое угнетение . . .	8	50	2	1
Боли в кишечнике . . .	6	38	2	0
Тошнота	4	25	3	0
Головная боль	4	25	1	1
Одышка	3	18	0	0
Головокружение	2	12	0	0
Потертости ног	2	12	0	0

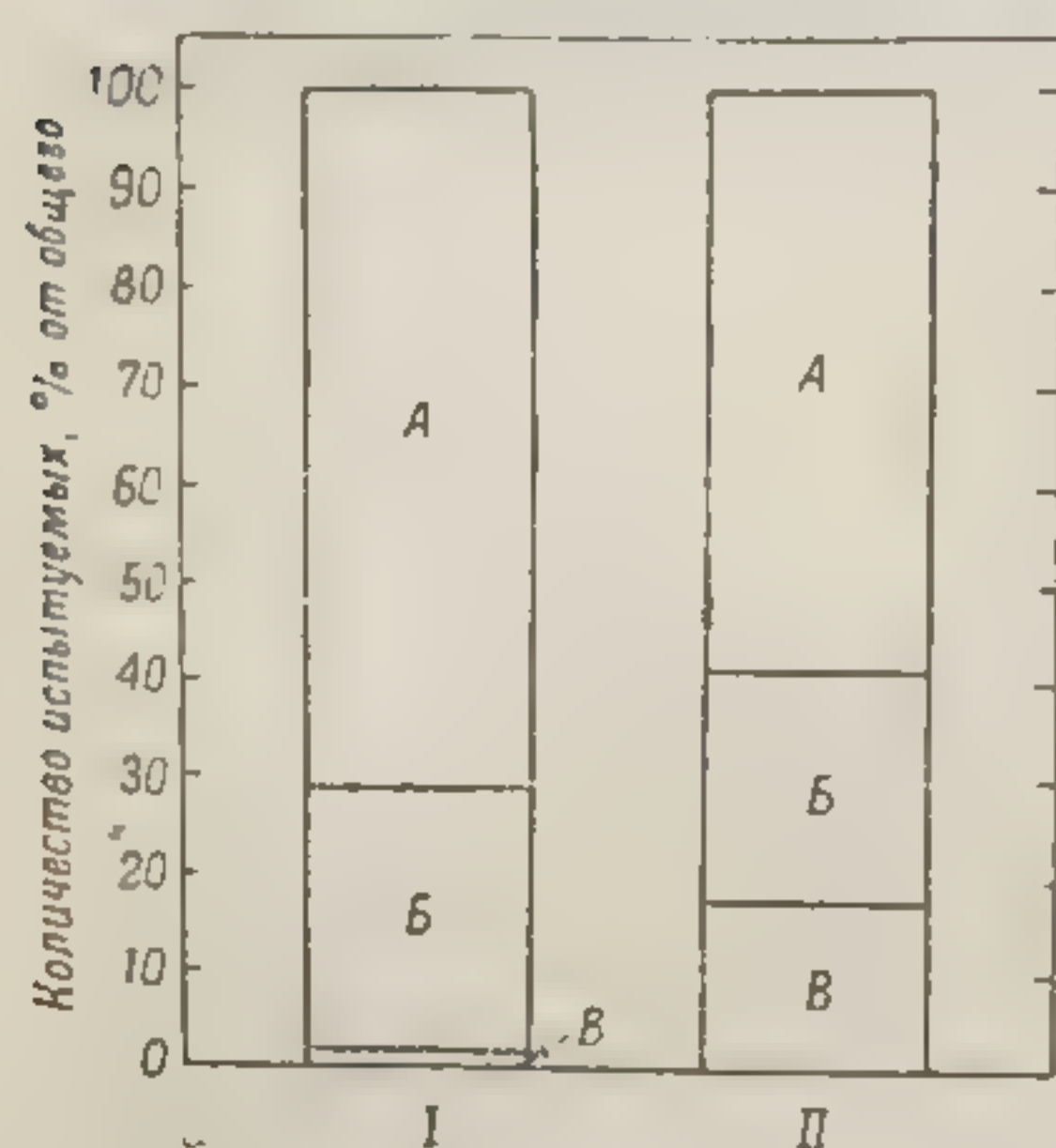
томов проявляются столь редко. Только 3 испытуемых сообщили, что их больше всего мучила жажда. И, наоборот, на чрезмерное мышечное утомление жаловались 12 человек, причем 5 из них говорили о своей неспособности двигаться дальше из-за физического истощения. Волдыри и другие виды потертостей ног, которые могли бы мешать испытуемым передвигаться, оказались серьезными только в двух случаях, причем ни в одном случае их нельзя было считать главной причиной неспособности двигаться дальше. На основании столь многообразных симптомов трудно было бы судить о том, какие из них определяют выносливость человека. К счастью, в нашем распоряжении были более надежные данные, чем просто субъективные ощущения, которые позволили нам установить количественную характеристику выносливости людей, идущих по пустыне без питьевой воды.

Факторы, ограничивающие выносливость человека

Результаты испытаний показали, что люди, лишенные воды, раньше выбывали из строя, чем те, которые имели воду. На фиг. 65 показана зависимость между выносливостью человека и наличием у него питьевой воды. Из 59 солдат, снабжавшихся водой, только один оказался в состоянии истощения, в то время как в другой группе, состоявшей из 70 солдат, не получавших воды, 11 обнаружили явные признаки истощения. Этот эксперимент был прекращен, когда во второй группе примерно треть испытуемых выбыла из строя вследствие истощения или других причин; мы обычно старались не доводить испытуемых до столь тяжелого состояния, до

которого доходили подвергавшиеся исследованиям сотрудники лаборатории. Среди последних состояние истощения было зарегистрировано во время походов у 15 человек; все 15 воздерживались от питья, в то время как их товарищи по походу, получавшие воду, признаков истощения не обнаружили.

Патологические изменения, предшествующие состоянию истощения, показаны на фиг. 66, которая иллюстрирует прогрессивные

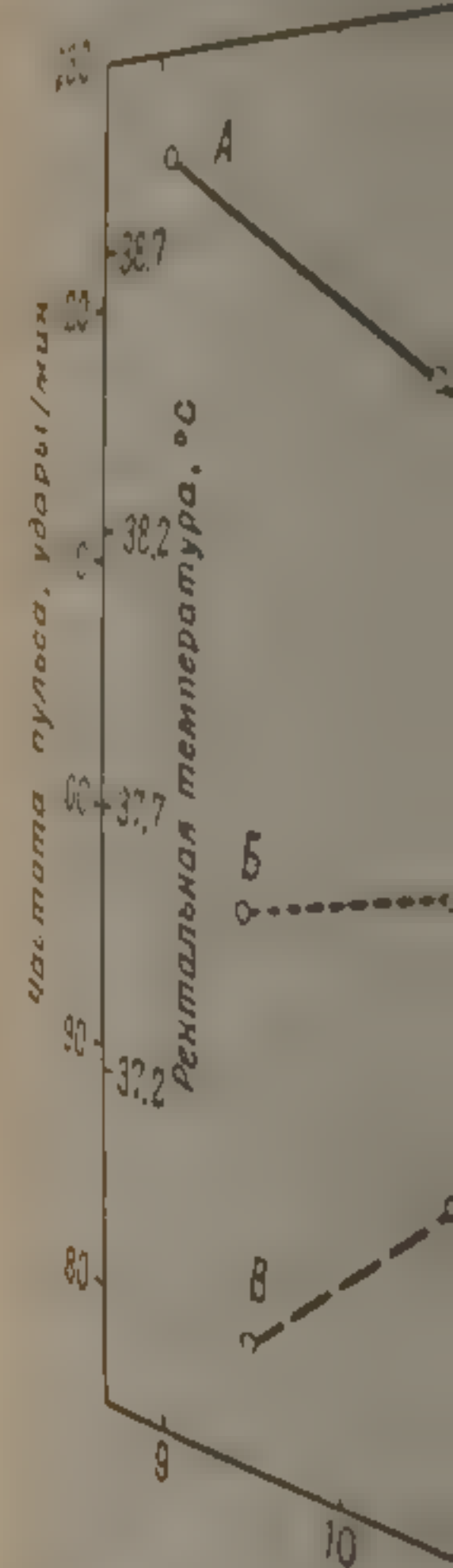


Фиг. 65. Выносливость 129 испытуемых в походе (поход в течение 3—8 час.). I—с водой (59 испытуемых); II—без воды (70 испытуемых). А — закончили поход, не истощены; Б — не закончили похода, состояние испытуемых точно не установлено; В — несомненное истощение (по определению наблюдателей).

В условиях пустыни, как правило, люди не могут длительное время идти, не возмещая той воды, которая расходуется их организмом в виде выделяемого пота. Дегидратация настолько усиливает физическое утомление, что даже сохранение вертикального положения уже требует невыносимого напряжения. Люди в состоянии такого сильного обезвоживания организма сохраняют ясность ума; они не теряют головы от жажды, если под чувством жажды понимать мучительное ощущение сухости во рту и горле. Вопреки популярным легендам о путешественниках, умиравших от мучительной жажды, у людей, страдающих от недостатка воды, не возникает бреда или агонии от ощущения жажды; они просто делают себя не способными даже к самому незначительному физическому усилию.

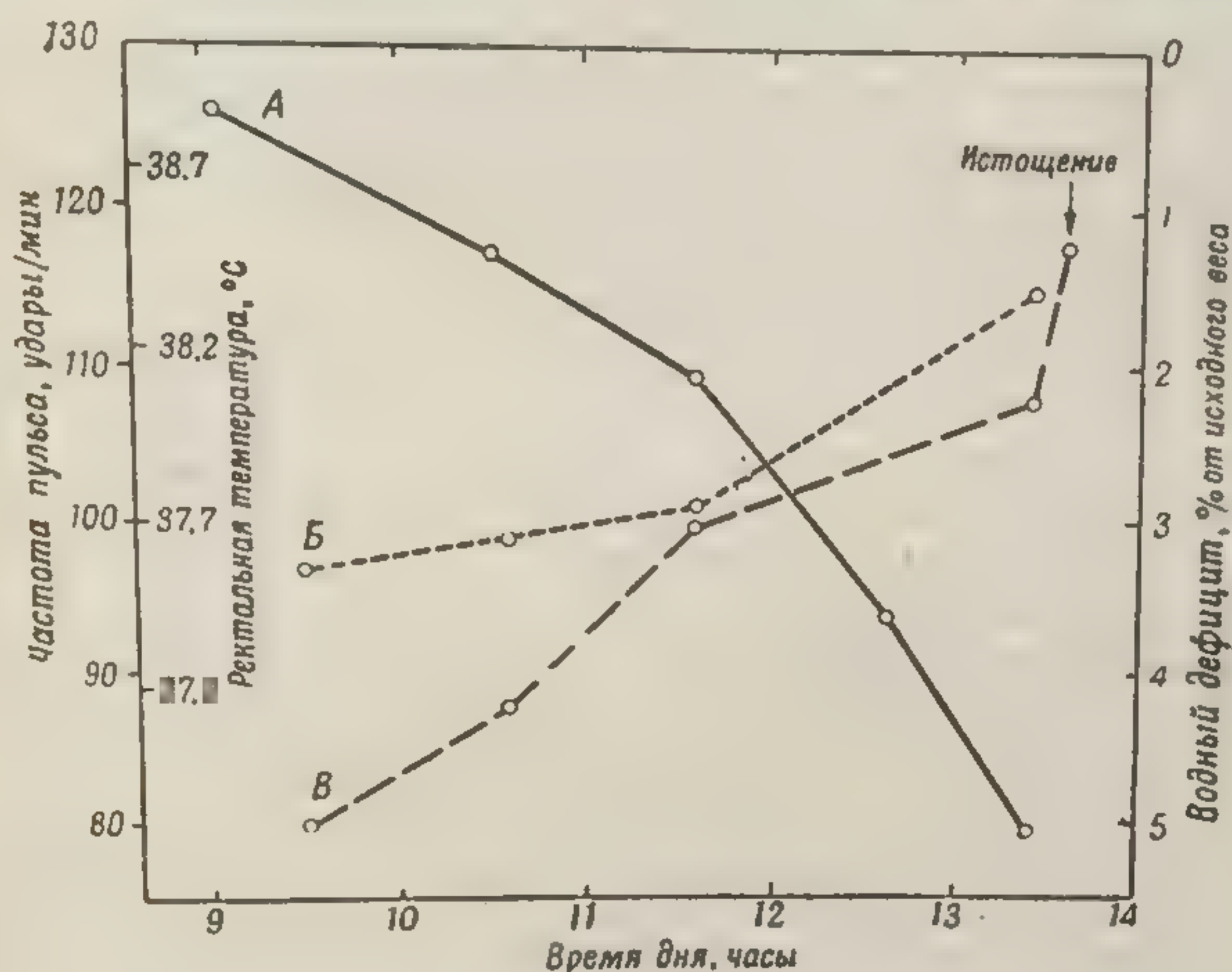
Механизм дегидратационного истощения будет рассмотрен в главе XII. Здесь же мы только рассмотрим факты, имеющие значение для обсуждаемого вопроса.

изменения частоты сердечных сокращений, ректальной температуры и веса тела у испытуемого, совершившего в пустыне четырехчасовой поход без воды. К концу четвертого часа водный дефицит у него составлял 5,5% исходного веса тела. Он не мог ни ходить, ни стоять и был близок к потере сознания; потоотделение было очень обильным, дыхание затрудненным, он жаловался на дрожь в руках и с большим трудом говорил. В такой же жаркий день, но на этот раз имея с собой питьевую воду, этот испытуемый смог пройти гораздо большее расстояние, не обнаружив при этом ни признаков истощения, ни учащения сердцебиения, ни повышения температуры тела. Таким образом, совершенно ясно, что в данном случае именно водный дефицит в организме привел испытуемого к истощению.



Фиг. 66. Изменения частоты пульса и ректальной температуры у испытуемого, совершившего 4-часовой поход с водой (А) и без воды (Б).

Исходя из того, что организму человека для выполнения физической работы средней тяжести необходима почти вся содержащаяся в нем вода, мы установили, что если не возмещается даже незначительное количество выделившейся с потом воды, то кровообращение сильно затрудняется; по мере продолжения работы и увеличения в организме водного дефицита учащается пульс, наступает лихорадочное состояние, значительно ухудшается общее самочувствие и в конце концов постепенно достигается предел выносливости человека: прежде всего становятся невозможными:



Фиг. 66. Изменение веса тела, ректальной температуры и частоты пульса у испытуемого во время похода продолжительностью 4 часа без питьевой воды. Максимальная температура воздуха 40° . А — вес тела; Б — ректальная температура; В — частота пульса.

выполнение очень напряженной работы, быстрая ходьба, затем даже медленное передвижение и, наконец, просто сохранение вертикального положения.

Если человек по мере усиления обезвоживания организма постепенно уменьшает свою активность, то он может испытать в последовательном порядке эти явления; если же он пытается сохранить свою первоначальную деятельность, то она внезапно кончается полным коллапсом и обморочным состоянием. Симптомы, сопровождающие дегидратацию, часто совершенно маскируют первопричину, вызвавшую столь тяжелые расстройства, а именно: недостаток воды в теле человека.

В каких случаях следует идти на поиски воды

В большинстве случаев человека, оказавшегося в критическом положении в пустыне, занимает вопрос: когда лучше всего двинуться в путь в поисках спасения? Если расстояние до безопасных мест не превышает 16 км, вполне здоровый человек, с начинающимся обезвоживанием организма, может пройти его за 3—4 часа и, таким образом, окажется в безопасности раньше, чем все возрастающее обезвоживание организма закончится коллапсом. Если же расстояние больше, он должен подчиняться правилу, обязательному в пустыне, — идти только ночью. Во время эксперимента, проведенного нами 9—10 июля 1943 г., группа в составе 8 человек, пройдя в течение ночи 32 км, достигла в среднем такой же степени дегидратации как и сравнимая с ней группа (9 человек), прошедшая на следующий день только 9 км.

При ходьбе увеличивается выделение пота, причем это увеличение больше днем, чем ночью. Отчасти это обуславливается тем, что человек, идущий днем, всегда находится на солнцепеке. Теоретически человек должен использовать для ходьбы самые прохладные ночные часы (от 10 час. вечера до восхода солнца), каждую ночь идти не больше 8 час.; в дневное время не снимать одежды и находиться в наиболее густой тени, какую только можно найти или создать в данных конкретных условиях. Если человек совсем не будет ходить, он потеряет за сутки только половину того количества пота, которое расходуется человеком, идущим по солнцепеку.

Чем слабее дегидратация, тем дольше сохраняется жизнь человека. На вопрос о том, не лучше ли оказавшись без воды, никуда не ходить и ждать прихода спасательной группы, можно ответить, только учитывая конкретные обстоятельства. Нельзя определить в общей форме, сколько времени может выжить человек, ожидая помощи; какова вероятность того, что он будет за это время обнаружен спасателями; какое расстояние он сможет пройти; какова вероятность того, что на протяжении этого пути ему удастся найти источник воды. Ответы на подобные вопросы в каждом конкретном случае могут определяться совершенно непредвиденными обстоятельствами. Поэтому единственное, что может сделать физиолог, — это помочь оценить возможности человека в максимально разнообразных условиях.

Какое расстояние и за какое время может пройти человек в состоянии обезвоживания организма

Поскольку недостаток воды обуславливает пределы выносливости человека в ходьбе, постольку расстояние, которое он может пройти, зависит главным образом от факторов, влияющих на потерю воды его организмом. Температура воздуха, время дня, характер

местности и имеющийся в распоряжении человека запас воды регулируют скорость наступления дегидратации. Из всех этих факторов наиболее изменчивыми являются, несомненно, температура воздуха и транспортабельный запас воды. Мы можем предсказать скорость наступления обезвоживания организма, если мы знаем действие температуры на потоотделение и если в нашем распоряжении, кроме того, будут данные о суточном температурном цикле, характерном для данной местности и времени года. Такие приблизительные определения приложимы к каждому конкретному случаю лишь постольку, поскольку преобладающие условия последнего соответствуют нашим средним величинам.

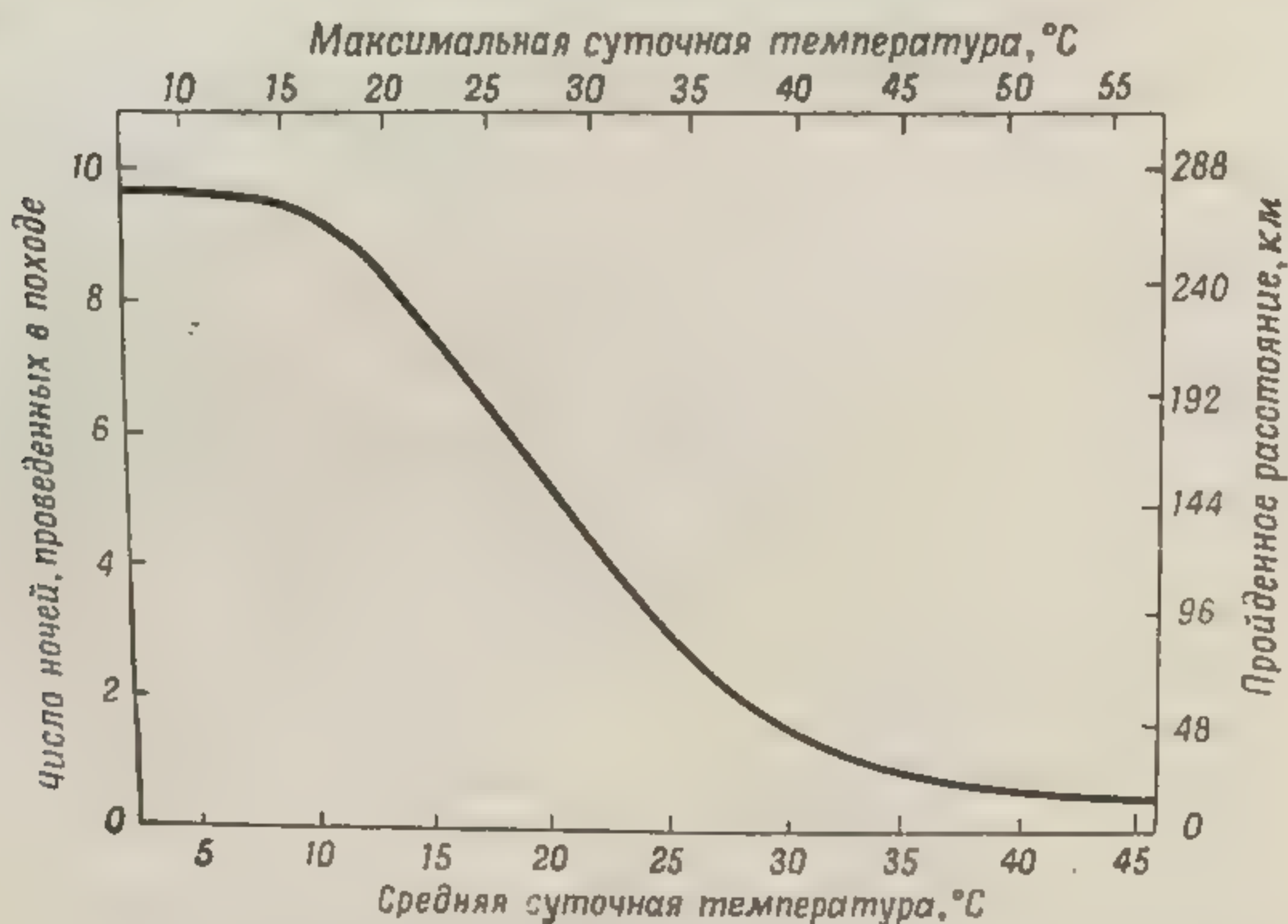
Если приходится идти не по дороге, то необходимо определить скорость движения. На основании этих данных, полученных путем измерений или теоретических расчетов, можно попытаться предсказать, какое расстояние человек сможет пройти, прежде чем у него начнется дегидратационное истощение.

Степень водного дефицита, при котором человек теряет способность к ходьбе, может быть крайне различной; она является только одним из факторов, вызывающих состояние истощения, возникающее в результате совокупного действия большого числа причин. Большую роль при этом играет температура воздуха; кроме того, очевидно, имеет значение и степень акклиматизации. Как правило, в жаркое дневное время (при температуре воздуха $35-45,5^{\circ}$) испытуемые оказывались в состоянии истощения, т. е. не могли идти с установленной скоростью, когда водный дефицит достигал у них 4—8% исходного веса тела. В лаборатории в тепловых камерах испытуемые могли выполнять легкую работу (упражнение на эргометрическом велосипеде) при водном дефиците, равном 8—10% исходного веса тела. В большинстве случаев верхний предел дегидратации достигается при ходьбе в ночное время, однако даже в эти относительно прохладные часы водный дефицит, очевидно, не превышает 10—12%. Учитывая, что в зависимости от индивидуальных особенностей и конкретных условий возможны различные вариации в проявлениях дегидратации, мы считаем, что в среднем предел выносливости в отношении ходьбы в пустыне наступает при водном дефиците, равном 10% веса тела.

Для того чтобы вычислить у человека, находящегося в пустыне без воды, скорость наступления дегидратации, на основании которой определяются его выносливость и время выживания, мы сопоставили потери воды за день с температурой воздуха и характером деятельности. Экспериментальные основы этих расчетов описаны в главе IV. Мы суммировали количества выделяемого испытуемым пота за каждый час дня и ночи, пользуясь при этом данными средней величины потоотделения, соответствующей ежечасным конкретным условиям температуры и активности испытуемого. Средний суточный температурный цикл выводился на основании данных

метеорологических наблюдений в пустыне, с учетом различий в колебаниях температуры и в средних температурах, наблюдаемых в различных пустынях в то или иное время года. Объем мочи при обезвоживании организма минимален и составляет 400—500 см³/сутки. Для определения общей потери воды за 1 день нужно суммировать количества выделенного пота и мочи.

Однако даже в том случае, когда человек совершенно не принимает воды, дегидратация развивается не вполне параллельно возрастанию потерь воды. Некоторое количество содержащейся в



Фиг. 67. Зависимость между пределом выносливости при ходьбе в состоянии обезвоживания организма, расстоянием, пройденным до наступления полного физического истощения, и температурой воздуха.

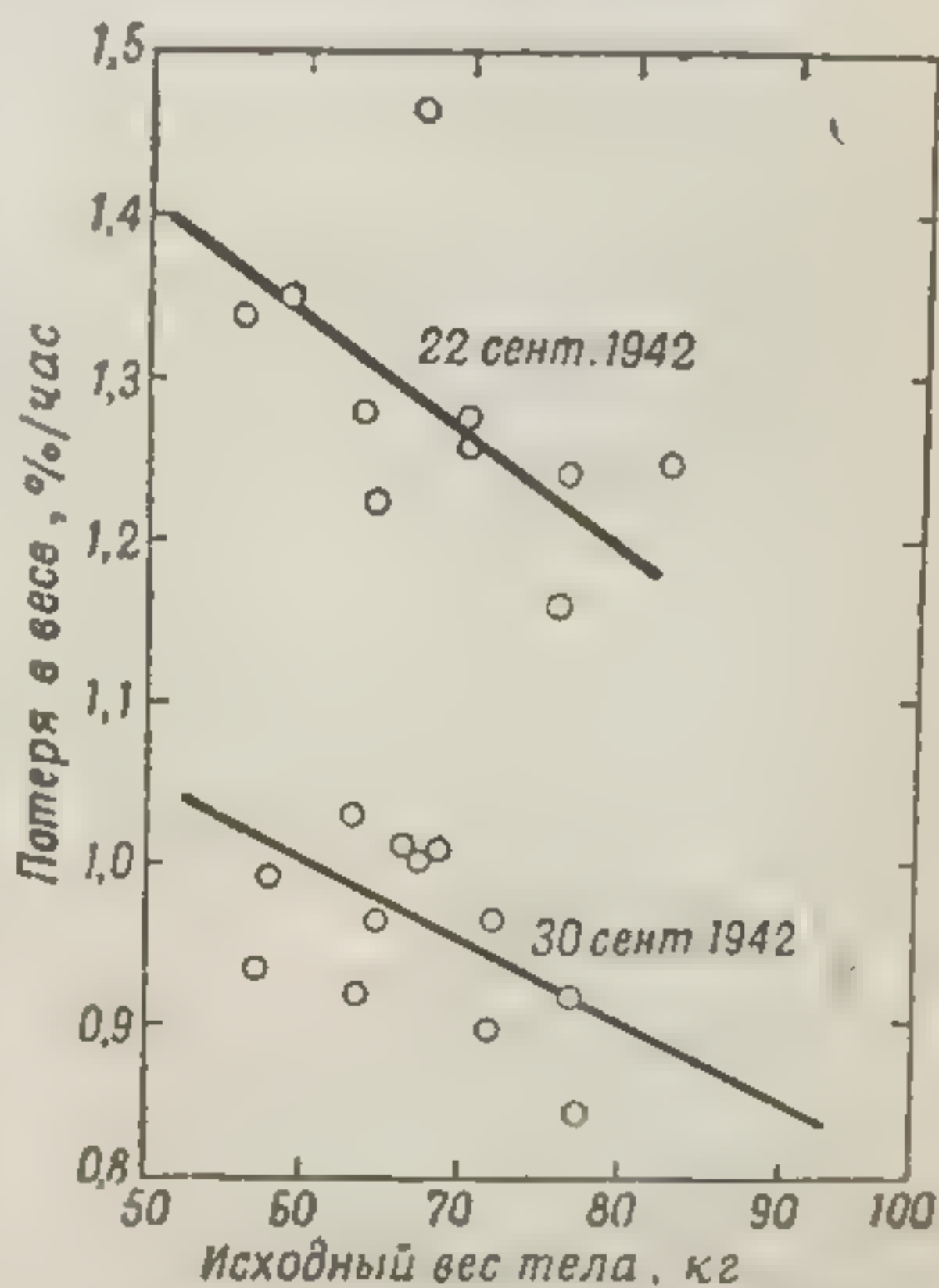
тканях жидкости освобождается в процессе катаболизма тканей, ибо человек в состоянии дегидратации обладает плохим аппетитом и принимает мало пищи (которая могла бы пойти на возмещение разрушенных тканей) даже в том случае, если в его распоряжении имеется достаточное ее количество. Поэтому уменьшение веса тела вызывается не только потерей жидкости. За каждый день голодной диеты основной вес тела изменяется примерно на 0,5%; необходимая энергия образуется за счет процессов окисления в тканях. Количество освобождаемой при этом воды составляет 400 г в день или несколько больше, что весьма незначительно увеличивает обезвоживание организма. Это количество примерно эквивалентно объему мочи, выделяемому при всех степенях водного дефицита, с которыми мы имели дело; поэтому для удобства расчетов мы приняли, что объем воды, выделяемый в виде мочи, примерно равен объему воды,

образовавшейся в результате процессов метаболизма. Можно считать, что практически они покрывают друг друга. На основании этого мы упростили наши расчеты, и, вместо того чтобы подсчитывать величину потерь воды за день, мы вычисляли дневное возрастание водного дефицита.

Как можно видеть из всего вышензложенного, расчеты для прогноза общей потребности в воде достаточно просты, хотя и трудоемки. Результаты таких вычислений суммированы на фиг. 67, где по оси ординат отложено время, в течение которого у человека, находящегося в состоянии дегидратации, наступает предельный водный дефицит (при условии, что человек для передвижения использует самую прохладную часть ночи, а днем отдыхает в тени).

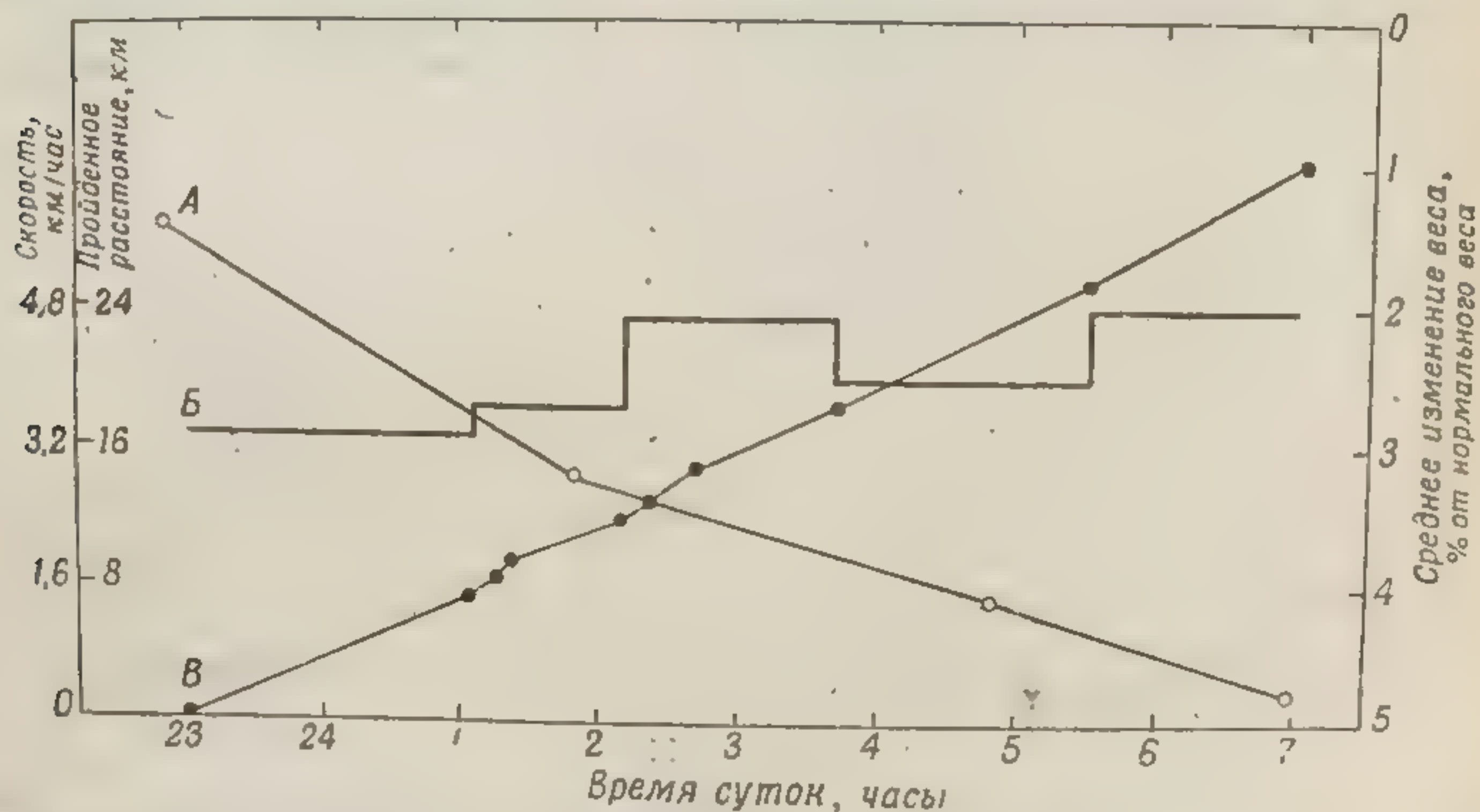
Состояние обезвоживания организма у людей невысокого роста наступает относительно быстрее, чем у высоких людей (фиг. 68). Всякий раз, когда можно выбирать людей, посылаемых для оказания помощи, нужно иметь в виду, что в среднем люди высокого роста могут выдерживать отсутствие воды более длительное время. Однако при наличии некоторого запаса воды людям низкого роста хватит его на более длительное время.

После того как установлено, сколько времени в среднем человек может идти по пустыне без воды, для определения расстояния, которое он сможет пройти, нужно установить скорость его передвижения. Эту величину можно определить лишь приблизительно, ибо даже незначительное различие в характере местности и темноте ночи оказывает влияние на легкость, а следовательно, и скорость передвижения. Во время одного эксперимента, проведенного в 1942 г. непосредственно в пустыне (Калифорния), 10 человек лунной ночью прошли за 10 час. 37 км. В 1943 г. по более легкой для передвижения местности, но темной, безлунной ночью 8 человек за 8 час. прошли 32 км. Скорость передвижения несколько варьировала, но во время самой легкой части пути составляла около 5 км/час (через каждый час—10-минутный отдых) и даже в самые тяжелые часы (от 23 час. до 1 часа ночи) несколько превышала 3 км/час (фиг. 69).



Фиг. 68. Зависимость между временем наступления обезвоживания организма и исходным весом тела у испытуемых во время похода в пустыне без воды. Каждый кружок соответствует одному испытуемому.

Переходы во время этих экспериментов были, по всей вероятности, несколько более легкими, чем переходы в «среднекритических» обстоятельствах. По всей вероятности, следует считать, что большинство людей в действительно критической ситуации смогут пройти за ночь минимум 24 км и максимум 32 км. Точнее можно считать, что человек проходит 3,5 км в 1 час, или 28 км за ночь (за 8 час. ходьбы). Нет никакого сомнения, что по мере приближения человека к состоянию истощения скорость его передвижения



Фиг. 69. Поход в пустыне, совершенный 9 испытуемыми в наиболее прохладные ночные часы при наличии ограниченного запаса воды. *A* — потеря веса тела; *B* — скорость ходьбы; *B* — общее расстояние.

убывает. Он может даже продолжать некоторое время очень медленно идти, превышая так называемый «предел выносливости», обусловленный 10-процентной дегидратацией организма. Однако ориентировочно мы исходим из того, что человек идет с неизменной скоростью до тех пор, пока водный дефицит в его организме не достигнет 10%, и затем сразу останавливается. На фиг. 67 кроме числа ночей, в течение которых человек, лишенный воды, может находиться в движении, показано также и расстояние, которое он может пройти за все это время.

Наиболее эффективное использование ограниченного запаса воды

Человек, оказавшийся в критическом положении в пустыне и собирающийся двинуться в путь по направлению к безопасному месту, может иметь некоторый запас воды. Имеет ли смысл в подобной обстановке брать какое-то количество воды с собой? Хотя вызванное этим дополнительное расходование пота и энергии быть

может и ликвидирует все преимущества наличия воды, однако наши исследования, проведенные в пустыне на людях, носящих на себе груз разной тяжести, показали, что этот дополнительный расход за 1 час составляет меньше 1% транспортируемого и затем выпитого количества воды, что, конечно, является ничтожной платой.

Увеличение потоотделения, вызванное переносом тяжестей, определялось нами в двух экспериментах. В первом, проведенном



Фиг. 70. Испытуемые с бидонами воды, прикрепленными за спинами.

19 июля 1943 г., 4 испытуемых несли на себе 14 кг воды, а 4 других — 10 кг в течение 2 час. (все испытуемые несли воду в 20-литровых бидонах, привязанных к специальным доскам, укрепленным за спиной). Испытуемые пили без ограничения теплую воду из этих бидонов, потребив в среднем 0,7 кг. Средняя потеря пота на единицу веса тела в первой группе была несколько больше, чем во второй (разница составляла примерно 2%). На следующий день 3 группы (9 человек) испытуемых совершили 3 раза переходы, продолжительностью по 1 часу каждый; они несли на себе воду указанным выше образом, причем вес груза (включая вес доски) был равен 23, 13 и 2,7 кг (фиг. 70). Между походами были два отдыха продолжительностью 90 и 45 мин. Средний исходный вес тела каждого из 3 испытуемых в каждой из 3 групп колебался между 68,4 и 70 кг. Результаты этого эксперимента сведены в табл. 22. Ношение тяжести вызывало выделение некоторого дополнительного

количества пота, однако расходуемая на это вода составляла за 1 час только 1% воды, носимой испытуемыми.

Таблица 22

ПОТООТДЕЛЕНИЕ У ИСПЫТУЕМЫХ,
НЕСУЩИХ НА СЕБЕ ВОДУ

Вес груза, кг	Потоотделение за различные периоды, г/час			
	1-й	2-й	3-й	среднее
2,7	710	890	915	840
13	760	935	1 020	905
23	870	1 035	1 120	1 010

У одного испытуемого было измерено потребление кислорода за последние 5 мин. каждого часа ходьбы с целью определения израсходованной энергии при переносе тяжестей. Дополнительный расход энергии, доходящий до 32%, не настолько велик, чтобы он мог вызвать изменение метаболизма.

Из табл. 23 можно видеть, что приток экзогенного тепла почти равен теплопродукции организма, даже в том случае, когда последняя увеличивается вследствие движения испытуемого. Увеличение теплообразования, вызванное переносом тяжестей, было примерно таким же, как и обнаруженное Брезина и Рейхелем [1] в более прохладном климате. Количество аккумулированного в организме тепла определялось по повышению ректальной температуры, а количество продуцируемого тепла — по величине потребления кислорода и дыхательному коэффициенту. Количество тепла, получаемого из окружающей среды, вычислялось следующим образом: аккумулируемое тепло плюс тепло, теряемое в результате испарения, минус тепло, продуцируемое в организме. Так как при повышении температуры на каждые $0,5^\circ$ количество выделяемого пота увеличивается на 20 г/час, для сравнения теплообмена при 36° с теплообменом при $39,7$ и $40,6^\circ$ нужно к теплу, теряемому при испарении, и теплу, получаемому из окружающей среды при 35° , прибавить соответственно 201 г, или 117 ккал, и 43 г, или 25 ккал.

При наличии удобной тары человек в состоянии нести такое количество воды, вес которого равен $\frac{1}{3}$ веса его тела; практически величина взятого с собой в поход запаса воды обычно лимитируется именно отсутствием сосудов, удобных для переноса. Даже в том случае, когда вес груза достигал 23 кг (наибольший груз в наших экспериментах), расход энергии увеличился только на 32%. Каждый литр носимой с собой воды увеличивает преодолеваемое человеком (в обычную летнюю погоду) расстояние на 8—11 км,

Таблица 23

ТЕПЛООБМЕН У ИСПЫТУЕМОГО ПРИ РАЗЛИЧНОЙ НАГРУЗКЕ 1)

Вес груза, кг	Температура, °C	Тепло, ккал			
		аккумуля- рованное	теряемое при испа- рении	произведенное	получен- ное из ок- ружающей среды
13	36	24	534	411 (+14%)	147
2,7	39,7	24	644	361 (0%)	307
23	40,6	48	778	475 (+32%)	351

1) Вес тела испытуемого 72 кг; продолжительность каждого эксперимента 73 мин.

так что если его исходный запас воды довольно значителен, то данные фиг. 67 к нему не применимы. Прогнозы в отношении расстояния (подобно приведенным на фиг. 67) с учетом различных исходных транспортабельных запасов воды даны в табл. 24.

Таблица 24

РАССТОЯНИЕ, КОТОРОЕ МОЖЕТ ПРОЙТИ ЧЕЛОВЕК ДО НАСТУПЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО ВОДНОГО ДЕФИЦИТА

Средняя дневная темпера- тура ¹⁾ , °C	Расстояние (км) при нагрузке				
	0 л	1 л	4 л	10,5 л	21 л
4,4	274	305	418	643	1 030
10,0	274	305	418	643	1 030
15,5	209	241	321	498	788,5
21,1	144	161	225	337,8	547
26,6	72,5	80,5	112,6	176,9	273,5
32,2	32,1	40,2	56,3	80,4	128,7
37,7	24,4	38,9	32,1	48,2	80,4
43,3	14,5	16,1	24,1	32,1	48,2
48,8	11,3	12,8	16,1	24,1	40,2

1) Примерно на 8,3° ниже максимальной температуры.

Большая часть указанных в таблице расстояний, по всей вероятности, вполне реальна для обычной летней погоды и среднего

запаса воды. Цифры, расположенные в правой верхней части таблицы, сомнительны, ибо исходные данные для расчетов в крайних ситуациях менее достоверны. Поэтому расстояние, превышающее 240 км, нужно рассматривать как экстраполяцию.

Некоторые испытуемые, имея с собой в походе ограниченный запас воды, предпочитают пить понемногу, чтобы ее сохранить.

Широко распространенные представления о том, что прием воды во время марша увеличивает жажду и повышает общее количество потребляемой воды, а во время работы понижает работоспособность, являются вредными заблуждениями. Хотя бодрость и может поддерживаться сознанием того, что фляжка еще не совсем пуста, однако те, которые пытаются растянуть свой запас воды, не достигают этим никаких физиологических преимуществ. В результате многочисленных экспериментов мы установили, что разница в количестве выпиваемой за день воды людьми, получающими воду в неограниченном количестве, и людьми, пьющими только по окончании похода, составляет меньше 4% (см. табл. 17). В действительности растягивать запас воды на возможно более длительное время даже опасно. Мы наблюдали случаи истощения, вызванного дегидратацией у людей, имевших в своем распоряжении воду и просто не желавших ее пить.

Экономия воды до последней возможности точно так же не приносит никакой пользы. Это было показано нами в одном эксперименте (табл. 25), в котором определялась частота пульса и ректальная температура у 13 испытуемых, из которых одни пили имеющуюся у них воду часто и маленькими порциями, другие сберегали ее до конца похода, а третьи выпивали в начале похода. Испытуемые шли от 12 час. 46 мин. до 15 час. 30 мин., с ежечасными 10-минутными перерывами для отдыха. У каждого испытуемого была с собой на $\frac{2}{3}$ заполненная водой фляжка (600 см³). Имелись некоторые указания на то, что у испытуемых, сберегавших запас воды до конца перехода, физиологические нарушения были несколько сильнее, однако различия были настолько малы, что им нельзя придавать значения.

Итак, питьевой режим, который должны соблюдать люди в тех случаях, когда в их распоряжении имеется ограниченный запас воды, является, в основном, делом личного вкуса. Об этом очень ясно свидетельствуют наши опросы испытуемых, проведенные до и после похода. Из 13 испытуемых, принимавших участие в эксперименте, 11 предпочитали пить воду маленькими порциями на протяжении всего перехода, причем 7 из этих 11 считали, что смогут таким путем лучше поддержать себя. Один испытуемый пожелал выпить свою воду как можно быстрее, в то время как другой предполагал сберечь ее всю до последней возможности, однако изменил свое намерение после того, как попробовал выполнить его. Все остальные испытуемые также заранее составили себе определенные решения,

Таблица 25

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПИТЬЕВЫХ РЕЖИМОВ (переход 28 июля 1943 г.)

Число испы- туемых	Время приема воды	Исходный вес тела, кг	Количество выделенного пота, г	Исходная частота пульса и стандарт- ное откло- нение	Конечная частота пульса и стандарт- ное откло- нение	Исходная рек- тальная тем- пература ($^{\circ}$ C) и стандартное отклонение	Конечная рек- тальная тем- пература ($^{\circ}$ C) и стандартное отклонение
4	Через 30 мин. после начала похода . . .	71,6	3 380	$98 \pm 1,6$	$131 \pm 4,5$	$37,44 \pm 0,21$	$38,58 \pm 0,22$
5	Через каждые 15 мин. . .	72,6	3 410	$87 \pm 3,4$	$130 \pm 3,9$	$37,53 \pm 0,09$	$38,61 \pm 0,14$
4	Через 135 мин. после начала похода . . .	72,1	3 320	$91 \pm 3,4$	$138 \pm 2,6$	$37,60 \pm 0,09$	$39,06 \pm 0,32$

не связанные с порядком приема воды, которого требовал от них конкретный эксперимент. Совет не пить во время перехода в условиях пустыни основан на ошибочном представлении об уменьшении потребности человека в воде при воздержании от приема воды; он не выдерживает критики как с точки зрения физиологии, так и из соображений личного комфорта.

Прием избыточного количества воды перед началом похода

Некоторые люди, в предвидении ограничений в приеме воды в дальнейшем, склонны выпивать заранее большое количество ее. Считается, что поступать таким образом не следует, так как перегрузка желудка водой непосредственно перед физическими упражнениями или сразу же после них оказывает вредное действие. Поскольку мы не подтвердили ни первого, ни второго, мы считаем, что в определенных обстоятельствах «предварительный» прием воды нужно поощрять. Выпивая воду предварительно, человек приобретает внутренний запас, достигающий 1 л или даже больше. При быстром выпивании избыточного количества воды только половина ее выводится из организма (через полтора часа); в условиях пустыни большая часть воды удаляется в течение этого времени путем выделения пота и только незначительная часть экскретируется с мочой. Некоторые люди находят, что «предварительный» прием воды крайне неприятен, но, по всей вероятности, к нему можно привыкнуть. Он имеет несомненное практическое значение в тех случаях,

когда имеется вода, но отсутствуют портативные сосуды для ее переноски.

Мы произвели большое число экспериментов с предварительным приемом воды. В первом эксперименте, проведенном 21 июля 1943 г., четверо испытуемых с нормальным водным балансом перед часовым походом выпили по 1 л воды каждый. Только у одного из испытуемых моча оказалась менее концентрированной, чем обычно (уд. вес меньше 1,020). Следовательно, лишь 5% предварительно выпитой воды не пошло на последующее образование пота.

Во время другого эксперимента (23 июля 1943 г.) 18 испытуемых предварительно приняли по 1 л воды, после чего 9 из них (группа А) ходили в течение 1 часа, а 9 других (группа Б) отдыхали в помещении. Затем все испытуемые выпили еще по 1 л воды и поменялись ролями: группа Б отправилась в поход (на 1 час), а группа А осталась отдыхать. Пробы мочи брались в течение 1-го и 2-го часов после каждого приема воды. В табл. 26 приводятся результаты этого эксперимента.

Таблица 26

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРИЕМА 1 л ВОДЫ

Температура воздуха, °C	Группа испы- туемых	Деятельность	Исходный вес тела, кг	Потоотделе- ние в течение 1-го часа, г/час	Объем мочи, см ³ /час		Удельный вес мочи	
					1-й час	2-й час	1-й час	2-й час
37,2	А	Поход	73,3	645	125	50	1,014	1,021
37,2	Б	Отдых	71,7	570	200	100	1,008	1,014
43,8	Б	Поход	72,2	1 055	100	40	1,016	1,024
43,8	А	Отдых	71,8	440	105	70	1,014	1,017

Даже в наиболее неблагоприятных условиях пустыни 75% предварительно выпитой воды тратится на образование не мочи, а пота; в холодном климате на образование последнего в течение 2 час. затрачивается только 30% выпитой воды. У испытуемых, отправившихся в поход немедленно после предварительного приема воды, на образование пота шло 85% выпитой воды и только 15% выводилось с мочой.

Если вместо воды выпить раствор соли, то он удерживается в организме, даже в холодном климате, в течение более длительного времени. Поэтому если требуется предварительно выпить более 1 л воды, то вместо простой воды следует использовать 0,5—0,9-процентный раствор соли (5,8 г соли на 1 л воды); этот раствор вполне приемлем для питья, причем для увеличения запаса воды в организме его нужно принимать в течение 2—3 час. до начала похода.

Причины индивидуальных различий в выносливости

Совершенно несомненно, что некоторые люди переносят лучше других отсутствие воды во время похода, выдерживая до наступления коллапса большой водный дефицит. Люди, акклиматизировавшиеся к жаре и поэтому находящиеся в хорошем физическом состоянии, несколько легче переносят обезвоживание организма, чем неакклиматизировавшиеся индивидуумы. Однако мы не обнаружили никакой корреляции между выносливостью и каким-либо определенным физическим качеством испытуемых. Мы особенно рассчитывали найти зависимость между выносливостью и размерами тела, но в проведенных нами полевых экспериментах не было обнаружено сколько-нибудь заметного различия в выполнении заданий испытуемыми высокого и низкого роста. Тем не менее в одном отношении размеры тела имеют большое значение. Так как обезвоживание организма, измеряемое по потере организмом воды, выражается в процентах от исходного веса тела, то индивидуумы низкого роста, у которых величина потоотделения пропорционально больше, чем у высоких, неизбежно подвергаются более сильной дегидратации. Именно так и обстояло дело в двух характерных в этом отношении экспериментах, как можно видеть из фиг. 68, в которой по оси абсцисс отложен исходный вес тела, а по оси ординат — степень дегидратации. В обоих случаях значительная корреляция указывает на то, что испытуемые низкого роста быстрее подвергаются обезвоживанию, хотя разница в большинстве случаев составляла меньше 10% средней величины.

Возможно ли выработать привычку к недостаточному снабжению водой?

Величина потери воды организмом человека при лишении его воды изменяется весьма незначительно; поэтому на вопрос о возможности привыкания к состоянию дегидратации мы можем ответить отрицательно. Как правило, перспектива приучения людей к недостатку воды является очень заманчивой, но всякая экономия питьевой воды, достигаемая лишением воды людей, ощущающих жажду, носит временный характер, так как впоследствии полностью компенсируется при приеме воды и, кроме того, вызывает физиологические нарушения.

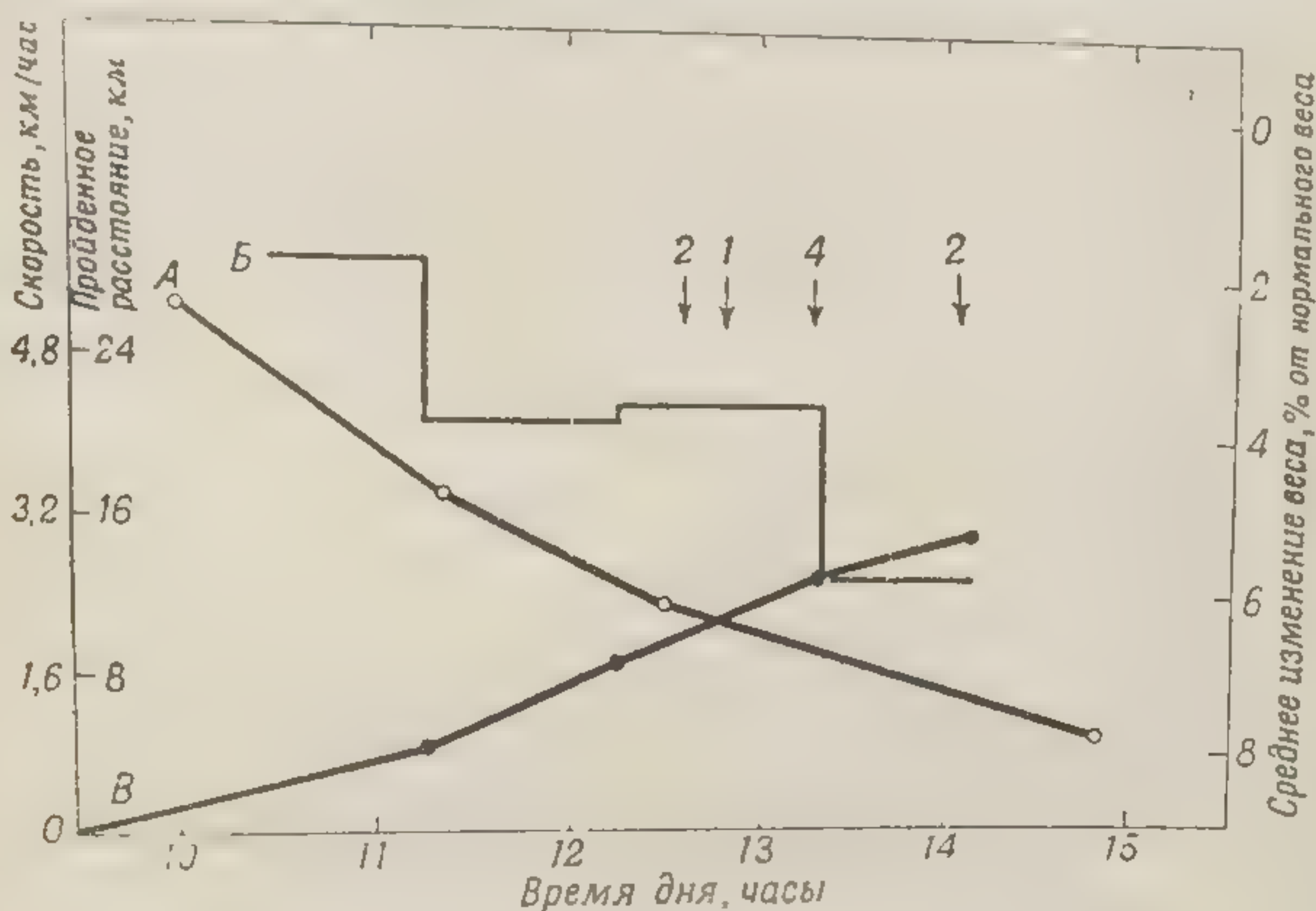
Поход без воды в условиях пустыни вряд ли можно рекомендовать как тренировочное мероприятие.

Реальность наших прогнозов относительно выносливости человека в походе

В июле 1943 г. мы имели возможность проверить реальность наших прогнозов выносливости при переходах в условиях пустыни.

та, находились весы и запас воды. Каждый испытуемый многократно взвешивался, и таким образом регистрировалось увеличение дегидратации.

«Ночная» группа шла до заранее установленного времени, после чего 1 наблюдатель и 3 солдата попытались еще продолжать свой путь по направлению к намеченной цели; в 8 час. 45 мин. и они были вынуждены прекратить движение, единодушно решив, что они не в состоянии достигнуть цели. Остальные 5 человек из этой группы отдыхали в тени до послеполудня; некоторые из них пытались спать, но это им плохо удавалось. Настроение у них все

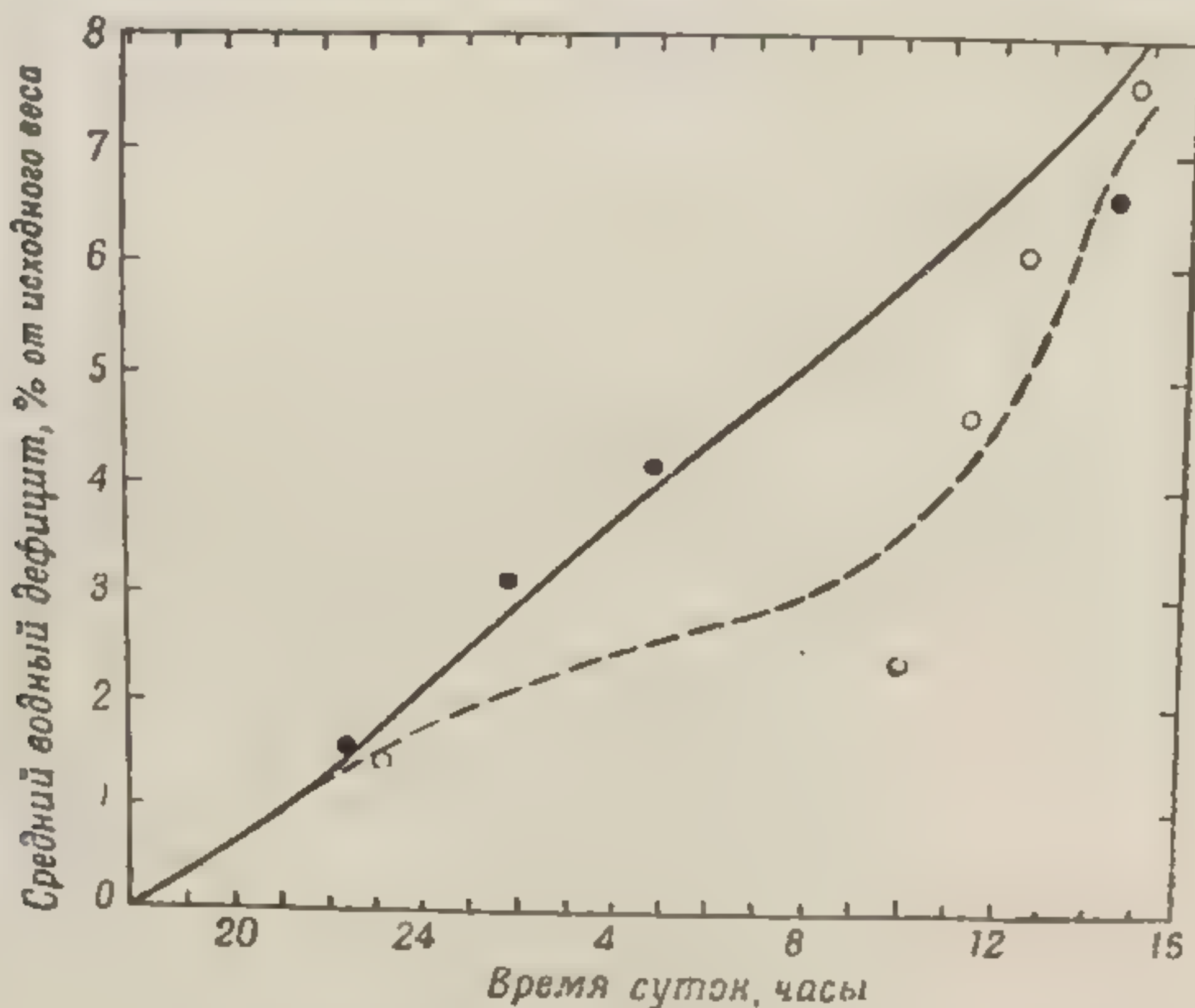


Фиг. 71. Поход в пустыне, совершенный 9 испытуемыми в жаркие дневные часы при наличии ограниченного запаса воды. Цифры и стрелки указывают, какое количество испытуемых и в какое время вышло из строя. А — потеря веса тела; Б — скорость ходьбы; В — общее расстояние.

ухудшалось, и, наконец, в 14 час. все пятеро отказались продолжать эксперимент и потребовали воды. В этот момент все они могли еще ходить, хотя и медленно. Один из них явно достиг состояния истощения, другой, вероятно, тоже, двое были на грани его. Испытуемые часто и резко выражали свое недовольство и находились в тяжелом моральном состоянии. Результаты этого похода представлены на фиг. 69, по которой можно судить о средней дегидратации, скорости и расстоянии, пройденном в различные моменты похода.

При нормальном водном балансе эти люди были очень исполнительны; в состоянии же дегидратации они не могли заставить себя выдерживать в течение целого дня плохое самочувствие, связанное

с обезвоживанием организма. Попади они действительно в критическое положение, они, по всей вероятности, оказались бы в состоянии дождаться в тени наступления ночи и, очевидно, продолжали бы свой путь в прохладные ночные часы. Хотя сила воли является очень важным фактором, решающий опыт в экспериментальных условиях провести очень трудно. Однако даже в критических обстоятельствах в пустыне неспособность человека продолжать свой путь все же целиком определяется физиологическими причинами и не может зависеть от одной силы воли.



Фиг. 72. Сравнение экспериментальных и вычисленных величин водного дефицита у испытуемых, совершавших поход в ночное и дневное время с ограниченным запасом воды. Каждый кружок представляет собой среднее значение из результатов определения у 2—9 испытуемых; определения производились до тех пор, пока испытуемые не выбывали из строя. Кружками обозначены экспериментальные данные: ○ — днем, ● — ночью; сплошной и пунктирной линией — вычисленные данные: ———— днем, ————— ночью.

Испытуемые «дневной» группы спали в то время, когда вторая группа была в походе, и отправились в путь в 10 час. 30 мин. Большинство испытуемых отдавало себе полный отчет в трудности передвижения в самую жаркую часть дня. Насколько эти трудности серьезны, выяснялось по мере быстрого нарастания дегидратации. Из 9 человек трое не смогли пройти 13 км, четвертый остановился как раз у дорожного знака, указывающего 13 км, двое, будучи в состоянии истощения, прошли, правда значительно медленнее, еще 2,25 км. Как видно из данных фиг. 71, испытуемые

шли достаточно быстро: в среднем 4,3 км/час. Однако предельный водный дефицит у членов этой группы наступил гораздо быстрее, чем у членов «ночной» группы, что вполне понятно, так как у них выделялось примерно в четыре раза больше пота, чем у последних.

Интересно, что у членов обеих групп предельный водный дефицит был примерно одинаков, хотя пройденное ими расстояние (32 км «ночная» группа и 13 км «дневная») было различным.

Наш прогноз относительно того, что 7-процентный водный дефицит должен явиться пределом выносливости испытуемых, оправдался на всех участках эксперимента. Члены «ночной» группы действительно прошли ожидаемое расстояние за 8 час., тогда как у испытуемых из «дневной» группы предельный водный дефицит наступил скорее, чем мы ожидали, и лишил их возможности пройти намеченное расстояние. Мы объясняем это тем, что температура воздуха в день эксперимента была примерно на $5,5^{\circ}$ выше, чем мы предполагали.

Результаты этого эксперимента могут быть использованы для проверки данных, представленных в табл. 24. Учитывая связь между величиной потоотделения, активностью испытуемых и температурой воздуха и считая за среднюю дневную температуру воздуха $37,7^{\circ}$ (фактическая средняя температура в день проведения эксперимента), мы вычислили кривую дегидратации для испытуемых, участвующих в ночном и дневном походах (сплошная и пунктирная линии фиг. 72). Экспериментальные точки на графике указывают средний водный дефицит, преобладающий у испытуемых из каждой группы. Совпадение между линиями, построенными на основании действительно полученных и ожидаемых результатов, свидетельствует о том, что данные табл. 24 вполне реальны.

Выводы

Человеку, страдающему от недостатка воды в условиях пустыни, необходимо иметь в виду следующее.

1. Организму человека необходима почти вся та вода, которая обычно в нем содержится.

2. Избыток воды, превышающий нормальную потребность человека, может удерживаться в организме в течение 1—2 час., поэтому «предварительный» прием воды вполне оправдан.

3. Ношение с собой запаса воды лишь незначительно увеличивает потерю ее организмом человека, поэтому следует брать с собой столько воды, сколько возможно.

4. Если количество воды ограничено, то не следует рекомендовать экономить воду до наступления состояния истощения; лучше, отправляясь в путь, выпить ее сразу, если только ее не больше, чем нужно для удовлетворения жажды.

5. В пустыне в критических обстоятельствах пища не играет большой роли и страдающие от жажды люди не ощущают в ней большой потребности.

6. Пройденное расстояние зависит от двух факторов: времени суток и характера местности. Если требуется пройти определенное расстояние без воды, то лучше всего это делать в самые прохладные, т. е. ночные, часы. С точки зрения экономии воды, содержащейся в организме, наиболее рационально идти самым быстрым шагом, ибо потоотделение возрастает больше с течением времени, нежели под влиянием дополнительных усилий. Трудная для передвижения местность может заставить идти медленнее из-за прогрессирующего мышечного утомления. Все эти факторы можно учесть в конкретных условиях, но они слишком сложны, чтобы можно было заранее точно предсказать, как лучше всего поступать в различных случаях.

7. Материалы, которые нам удалось собрать, могут помочь решить вопрос о том, при каких условиях человек, случайно оставшийся один, может рассчитывать добраться до источника воды.

Необходимо указать следующее: а) если в распоряжении человека имеется вода, то он должен перед отправлением в путь выпить как можно больше и, если есть возможность, взять с собой воду из расчета 4 л на каждые 32 км, которые он собирается пройти в ночное время, и 8 л на каждые 30 км, которые нужно пройти днем; б) если у него имеется с собой очень небольшое количество воды, то он должен все время оставаться в одежде и отдыхать до наступления темноты в возможно более густой тени; затем в том случае, если он знает, в каком направлении ему нужно двигаться, он должен идти, утоляя жажду по мере надобности, не пытаясь растянуть воду на более длительный срок; в) если у него с собой совсем нет воды, то он не может рассчитывать пройти в обычный летний день больше 32—40 км. Если преодоление этого расстояния не увеличит его шансов на спасение, то он, пройдя его, ничего не выиграет, а лишь уменьшит, даже при наиболее благоприятных обстоятельствах, время, которое он в состоянии выжить, на 10—15%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brezina E., Reichel H., *Biochem. Ztschr.*, 63, 170 (1941).

Г л а в а X

ИЗМЕНЕНИЕ КРОВИ ПРИ ОБЕЗВОЖИВАНИИ ОРГАНИЗМА

Когда человек выделяет пот и не возмещает расходуемую на это воду, содержание воды в его организме уменьшается. Какие же ткани в этом случае отдают воду? Какие функциональные изменения обнаруживаются при наступлении водного дефицита? Какие из них опасны? Многие физиологи считали, что чувство жажды является наиболее тяжелым последствием недостатка воды. В наших исследованиях мы обнаружили, что это ощущение гораздо менее неприятно, чем другие проявления дегидратации, которые, в конечном счете, доводят до прострации или истощения. Для того чтобы ответить на вопрос о том, в каких органах или тканях, в основном, происходит дегидратация, мы должны выяснить, отнимается ли вода непосредственно от самой крови, и определить общее распределение водного дефицита в организме.

Исследователь, вооруженный этими знаниями, сможет сказать, изменения каких тканей свидетельствуют о степени дегидратации и какие функциональные нарушения могут происходить в организме. Обезвоживание организма — серьезное явление; оно очень быстро принимает угрожающий характер и вызванные им нарушения тяжелы, если они длятся продолжительное время.

Объем крови

Как только мы на опыте убедились в том, что водный дефицит приводит к совершенно очевидным нарушениям кровообращения, мы попытались выяснить, уменьшается ли объем циркулирующей крови до такой степени, что затрудняет деятельность кровеносной системы. Мы решили измерять объем плазмы, а не цельной крови, ибо, зная первый, можно потом при помощи гематокрита (прибор для определения соотношения объема плазмы к объему эритроцитов в пробе крови), по крайней мере относительно, определить и второй.

Для того чтобы определить изменение объема плазмы крови, сопровождающее дегидратацию, внутривенно вводился раствор синьки Эванса, распространение которого определялось два раза с интервалом в несколько часов. Первое измерение производилось непосредственно перед тем, как испытуемый подвергался действию

высокой температуры, второе — в конце многочасового пребывания в тепловой камере, во время которого организм испытуемого терял определенное количество воды. Для этих двух измерений в вену каждый раз вводилось определенное количество снънки Эванса, после чего через 20—40 мин. для анализа брались пробы крови (методика Джибсона и Эвелина для повторных определений) [4]. Соответствующие контрольные определения показали, что при приеме достаточного количества воды среднее отклонение в 9 парах повторных определений равнялось $\pm 5,6\%$ (табл. 27).

Таблица 27

ПОВТОРНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ПЛАЗМЫ КРОВИ МЕТОДОМ
ВВЕДЕНИЯ КРАСКИ

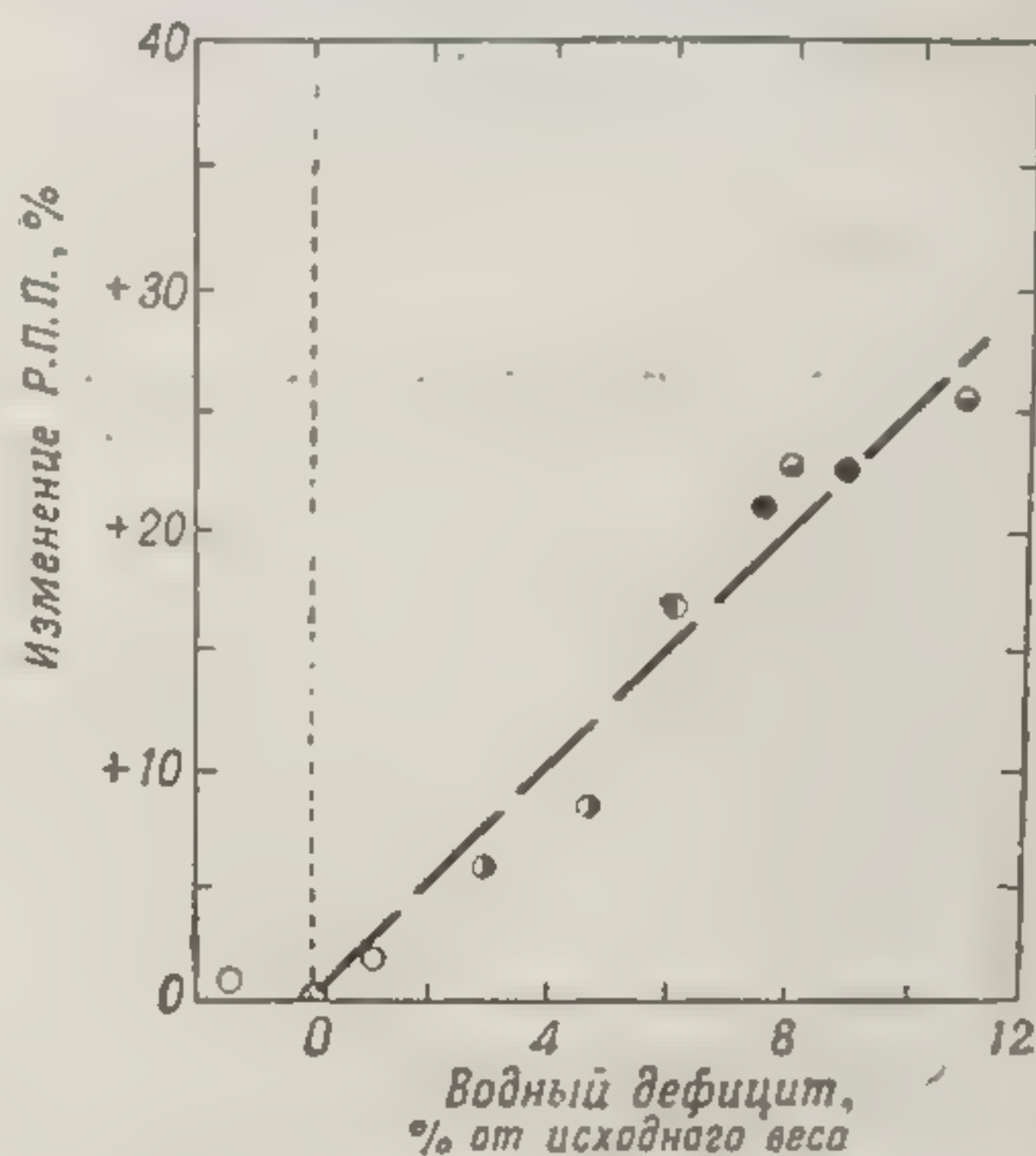
Испытуемый	Дата	Условия опыта	Исходный вес тела, кг	Изменения веса тела, %	Исходный объем плаз- мы, см ³	Конечный объем плаз- мы, см ³	Продолжи- тельность опыта, часы
А	24.XI 1942 г.	Нормальные	82,94	—	3 560	—	—
А	28.XI	»	83,67	—	2 750	—	—
А	16.XII 1942 г.	»	83,44	—	3 160	—	—
Б	24.XI 1942 г.	»	68,40	—	3 530	—	—
Б	25.XI	»	68,10	—	3 250	—	—
Б	18.XII 1942 г.	»	67,56	—	3 220	—	—
В	6.XII	Состояние дегидратации	72,73	— 4,57	2 290	2 040	7
В	21.XII	Питье без ограничения	72,61	— 2,42	3 520	2 910	30
Г	6.XII	Состояние дегидратации	70,94	— 5,58	2 150	1 360	6
Д	21.XII	То же	65,94	— 8,32	3 050	2 530	26
Д	7.I 1943 г.	» »	67,20	— 8,60	2 810	2 140	29
Е	21.XII 1942 г.	» »	60,48	— 9,00	2 910	2 780	29
Е	1.I 1943 г.	» »	60,81	— 10,98	2 580	2 140	34
Б	21.XII 1942 г.	Питье без ограничения	66,84	— 0,93	3 130	2 780	30
Б	29.XII	То же	67,00	+ 1,37	2 190	2 840	30

Результаты 9 парных определений, произведенных на 5 испытуемых, выполнявших упражнения в тепловой камере, показаны на фиг. 73. Совершенно очевидно, что существует зависимость между дегидратацией и уменьшением объема плазмы, но недостаточная точность этих определений не позволяет нам выразить эту зависимость количественно. Линия регрессии, очевидно, свидетельствует о том, что плазма потеряла в 2,5 раза больше воды, чем весь организм.

Иногда, прежде чем у испытуемых наступало состояние истощения, объем плазмы циркулирующей крови уменьшался очень

резко (в двух случаях соответственно на 24 и 37% исходного объема). О подобном относительном уменьшении количества плазмы вследствие медленной дегидратации сообщают Греггерсен и Буллок [2] и Маркс [3]. Тот факт, что объем плазмы крови уменьшается пропорционально больше, чем объем других тканей, указывает на различную степень дегидратации различных тканей. Если бы все ткани организма теряли воду в той же пропорции, как и плазма крови, то потеря воды во всем организме человека в 2,5 раза превышала бы фактические потери. Подобная неравномерная потеря воды различными тканями называется «показателем распределения дефицита».

В противоположность дегидратации, которая значительно уменьшает объем плазмы, обычно считается, что действие самого тепла приводит к умеренному увеличению объема плазмы крови [4].

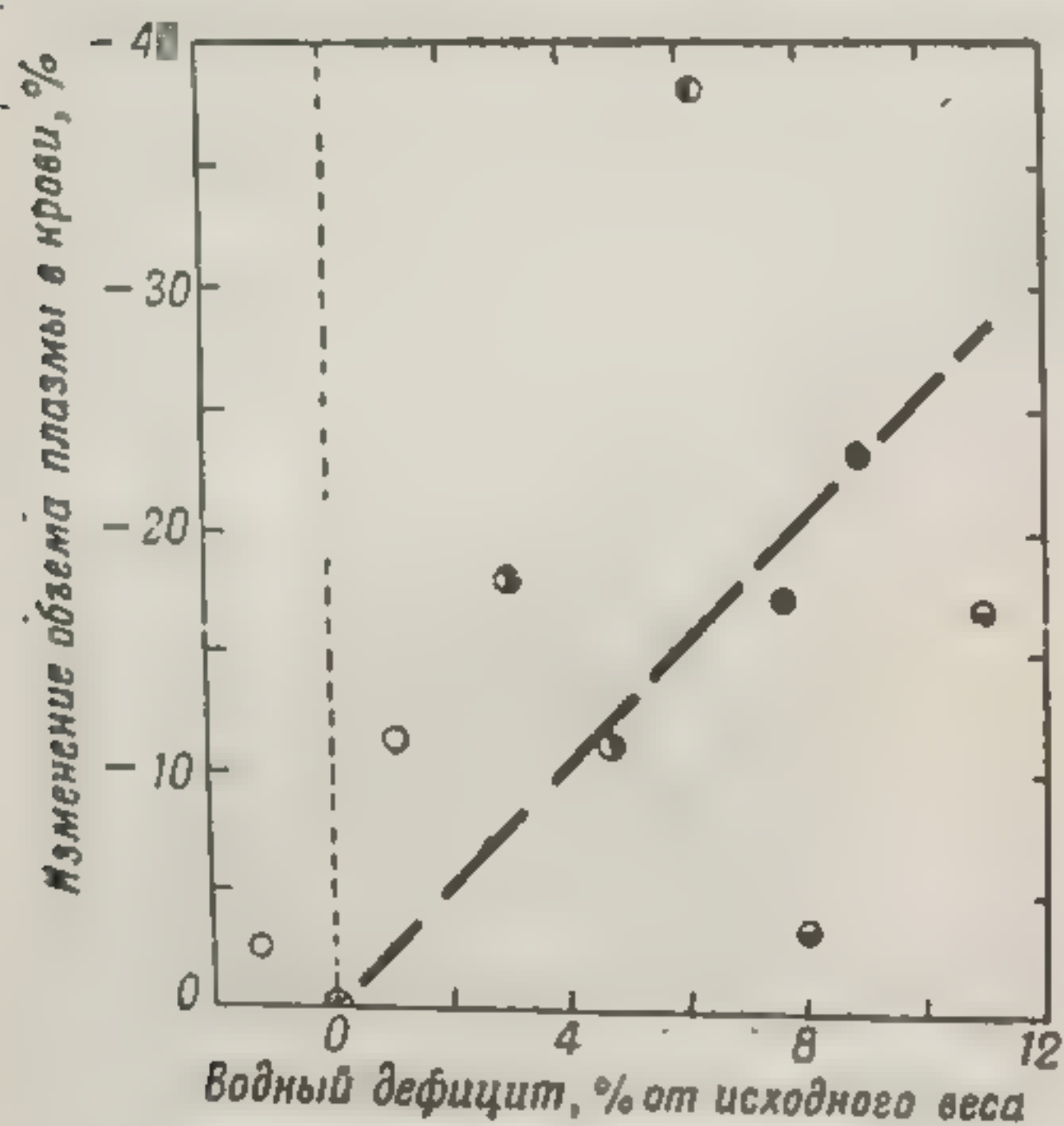


Фиг. 73. Зависимость между объемом плазмы и дефицитом воды в организме у испытуемых. Р. П. П. — разность между показателями преломления. Различными кружками обозначены разные испытуемые. Наклон линии 2,60.

Общая концентрация сыворотки крови

Поскольку определение объема плазмы методом введения краски несколько трудоемко и дает неоднозначные результаты, мы пытались измерять относительный объем ее путем определения концентрации твердых веществ, содержащихся в сыворотке циркулирующей крови. Для этой цели мы и в полевых и в лабораторных условиях использовали рефрактометр. Методика измерения заключалась в следующем: небольшая капля сыворотки, хорошо защищенная от испарения, помещалась между двумя призмами рефрактометра. Величину показателя преломления мы определяли по произвольно выбранной шкале, обычно при температуре 17,5°, хотя в такой же степени приемлемой была бы и любая другая температура при условии, что при ней исследовалась бы и дистиллированная вода. В пустыне мы не всегда работали при определенной температуре. При изменении температуры показатель преломления воды изменяется в такой же мере, как и показатель преломления сыворотки, так что разница между ними, или, другими словами, разность между показателями преломления, пропорциональна общему весу содержащихся в сыворотке твердых веществ.

Контрольные анализы показали, что: а) в пробах крови, последовательно бравшихся на протяжении 1 часа у людей, находившихся в состоянии покоя при умеренной температуре, изменения разности между показателями преломления были меньше 1%; б) у 4 испытуемых во время ходьбы в течение 2,5 час. при умеренной температуре со скоростью 5,5 км/час разность между показателями преломления изменилась менее чем на 1%; в) после пребывания в течение многих часов при высокой температуре, при условии, что прием воды был эквивалентен ее потерям, эта разность изменилась меньше чем на 4%.



Фиг. 74. Зависимость изменения разности между показателями преломления сыворотки от степени водного дефицита. Испытуемые и время те же, что и на фиг. 73. Наклон линии 2,50.

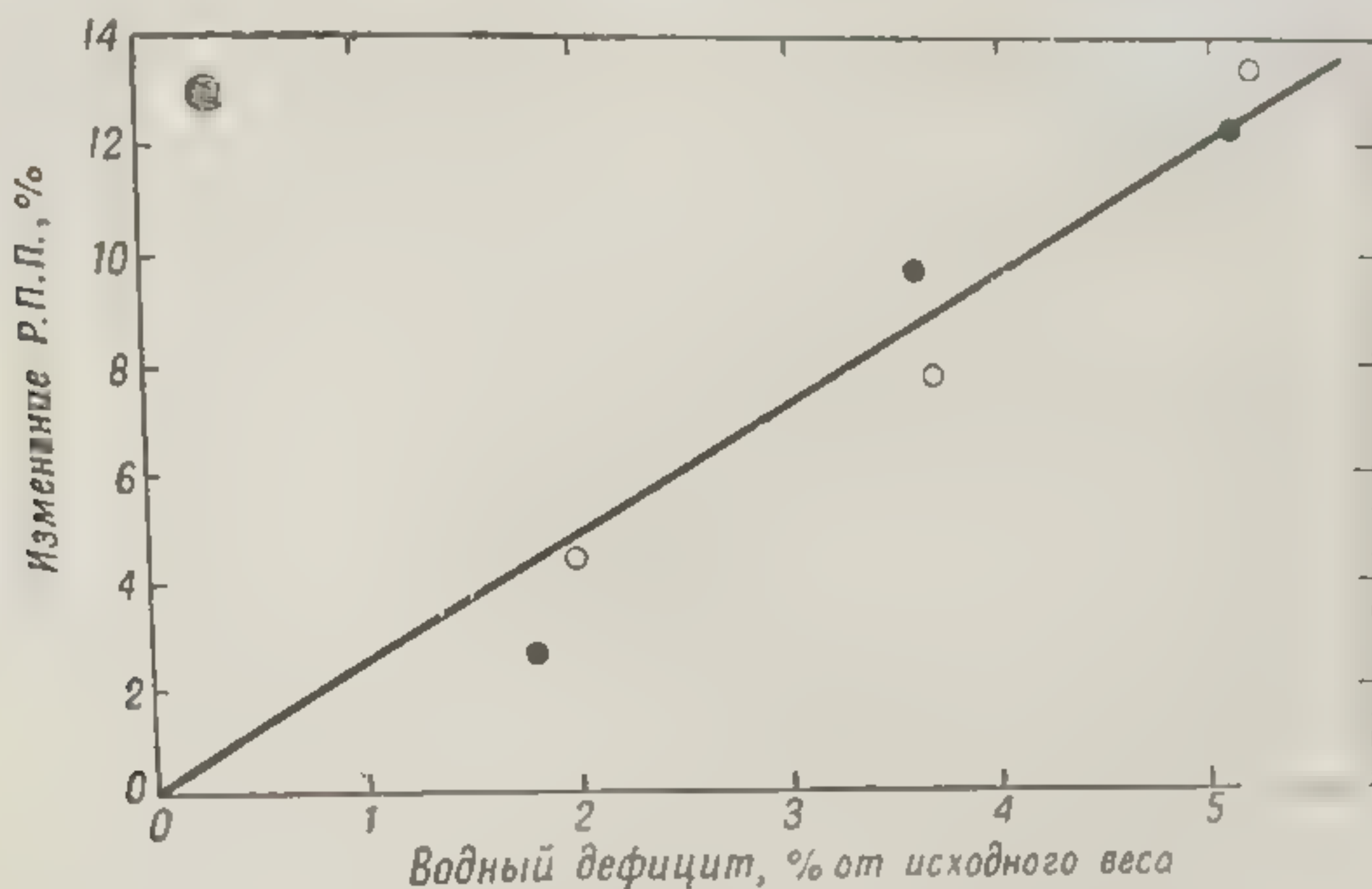
Вначале действие высокой температуры уменьшает разность между показателями преломления. Так, у 6 испытуемых, сидевших в течение 25 мин. при температуре воздуха $47,2^\circ$ и влажности 10%, разность между показателями преломления уменьшилась на 1,8—4,6% (в среднем на 3,5%). Это уменьшение соответствует увеличению объема плазмы, на которое указывают Гликман с сотрудниками [5], считающие, однако, что наступающее при этом разведение белков плазмы должно быть совершенно ничтожным. Такое же уменьшение разности между показателями преломле-

ния в первые часы экспозиции в отношении цельной крови было установлено Барбуром с сотрудниками [6], а также другими исследователями. В последующие часы при отсутствии дегидратации концентрация сыворотки повышается на 1—4% исходной концентрации.

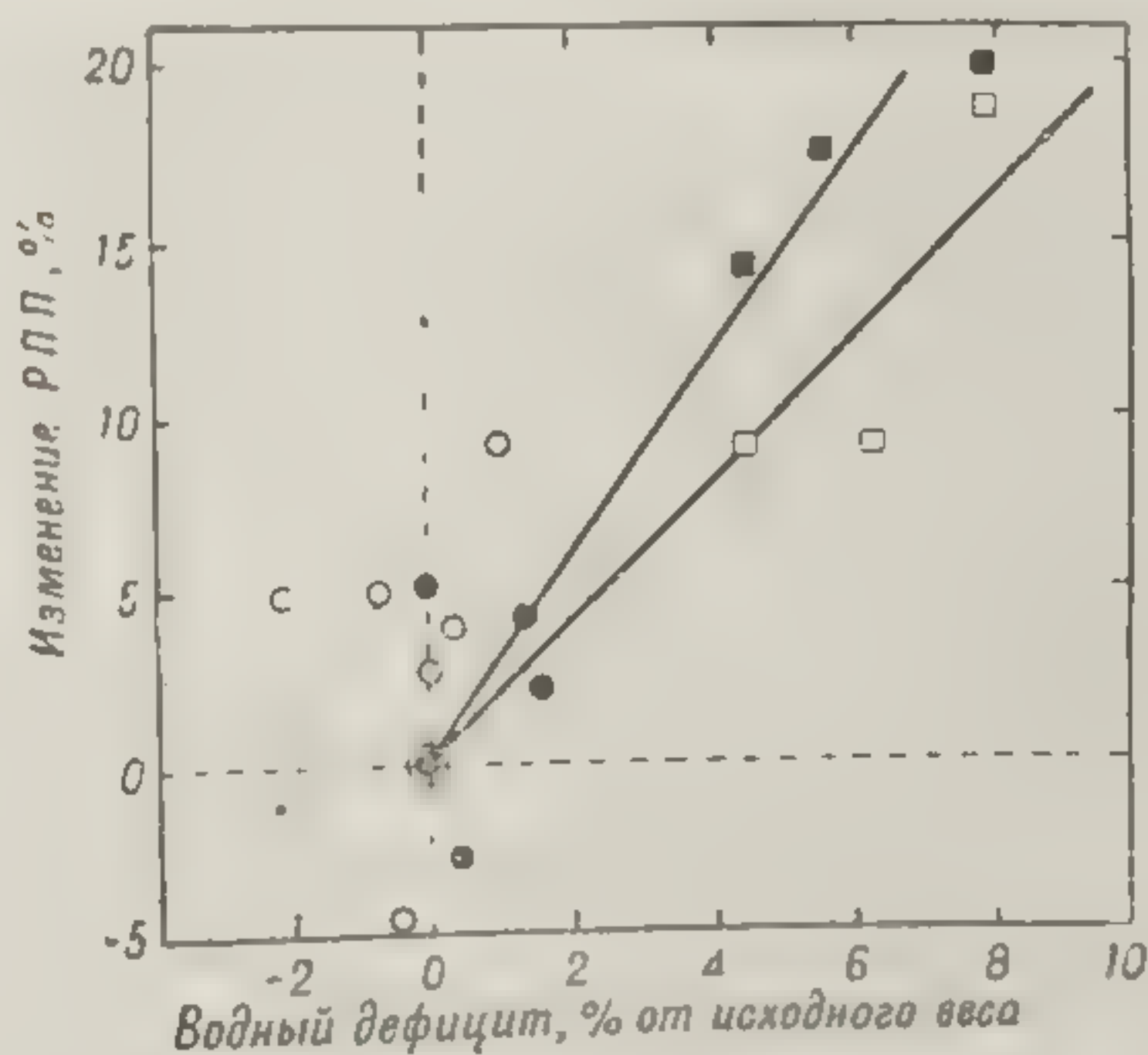
При наступлении дегидратации разность показателей преломления значительно возрастала (фиг. 74, 75). Эта зависимость была прослежена более чем в 60 случаях, причем было установлено, что хотя увеличение разности между показателями преломления колеблется в разные дни и у разных испытуемых, оно всегда пропорционально изменениям веса тела. Часто линия регрессии проходила через исходную точку; иногда этого не наблюдалось, в основном, вследствие разжижения крови, вызванного первоначальным тепловым воздействием.

Фиг. 76 свидетельствует о том, что показательными являются даже данные, взятые без выбора. Этот график построен на основании

результатов исследования одного испытуемого, находившегося в течение 4 дней (2 дня с питьевой водой и 2 дня без воды) в тепловой камере при температуре 49°.



Фиг. 75. Зависимость изменения разности между показателями преломления сыворотки от степени водного дефицита. Двухдневный поход в пустыне без воды. ● — 1-й день; ○ — 2-й день.



Фиг. 76. Зависимость изменения разности между показателями преломления сыворотки от степени водного дефицита. ● — 1-й день, нормальный водный баланс; ■ — 2-й день, обезвоживание организма; ○ — 3-й день, нормальный водный баланс; □ — 4-й день, обезвоживание организма.

Совершенно ясно, почему разность между показателями преломления обычно изменяется пропорционально изменению водного дефицита всего организма (см. фиг. 74). Поэтому она является более

точным критерием изменений объема плазмы, вызванных дегидратацией, чем введение краски, и, кроме того, ее гораздо легче измерить.

Все исследования, проведенные между августом 1942 г. и мартом 1943 г. (фиг. 77), указывают на одинаковые в среднем изменения разности между показателями преломления при дегидратации независимо от того, участвовали ли испытуемые в походе в пустыне, упражнялись ли на эргометрическом велосипеде в тепловой камере или находились в ней в состоянии покоя. Разбросанность точек на графике объясняется индивидуальными различиями или различной степенью дегидратации. Линия регрессии имеет наклон, соответствующий 3-процентному изменению разности между показателями преломления на каждый процент увеличения дефицита веса тела. Однако если линия регрессии прошла бы через исходную точку, ее наклон был бы только 2,3.

Концентрация твердых веществ в плазме меняется приблизительно пропорционально уменьшению объема плазмы. Фракционирование белков плазмы по методу Тизелиуса [7] показывает, что при дегидратации соотношение между всеми фракциями сохраняется постоянным. Следовательно, отдельные фракции белков не попадают в циркулирующую кровь и не выводятся из нее. В то же самое время общая концентрация крови возрастает на 21%. Этот факт был нам сообщен доктором Е. Л. Аллингом, который провел анализ двух парных проб плазмы, причем одна проба из каждой пары бралась до того, как испытуемый подвергался действию высокой температуры, а другая — когда вес тела вследствие выделения пота уменьшался на 5%.

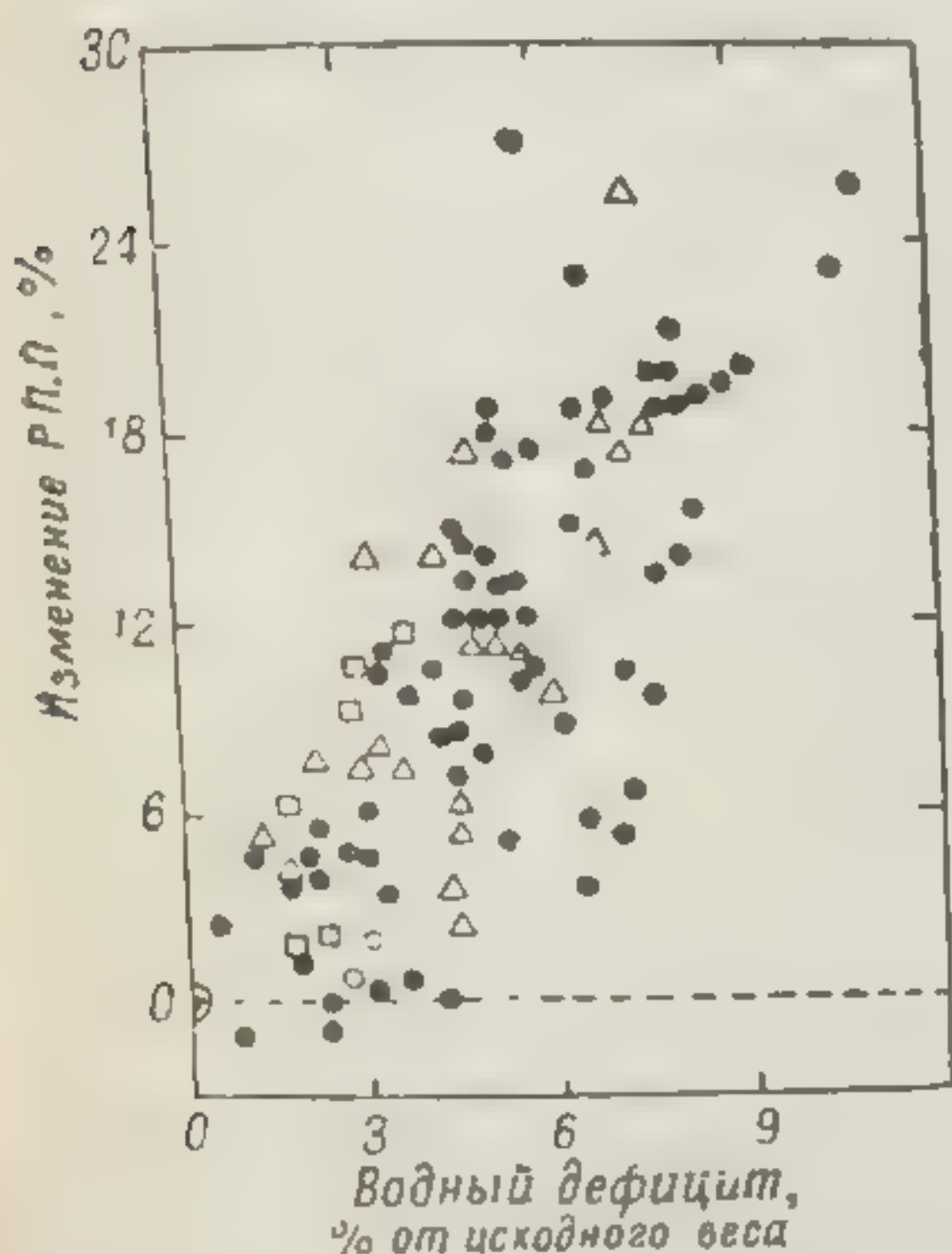
Все эти факты указывают на то, что плазма крови теряет только воду и что она теряет больше содержащейся в ней воды, чем большинство других тканей. Отношение между количеством воды, теряемой плазмой крови и всем организмом составляет примерно 2,7. В плазме содержится 12% твердых веществ, а во всем теле — обычно около 35%; если бы потеря воды одинаково распределялась по всему телу, ожидаемое отношение прироста разности показателей преломления к приросту веса тела составляло бы 88 : 65, или 1,35. В целом эти данные показывают, что плазма крови теряет вдвое большее количество воды, чем другие ткани тела.

Восстановление водного баланса после обезвоживания можно точно проследить по изменениям в показателе преломления. Нами были сделаны измерения в 15 случаях.

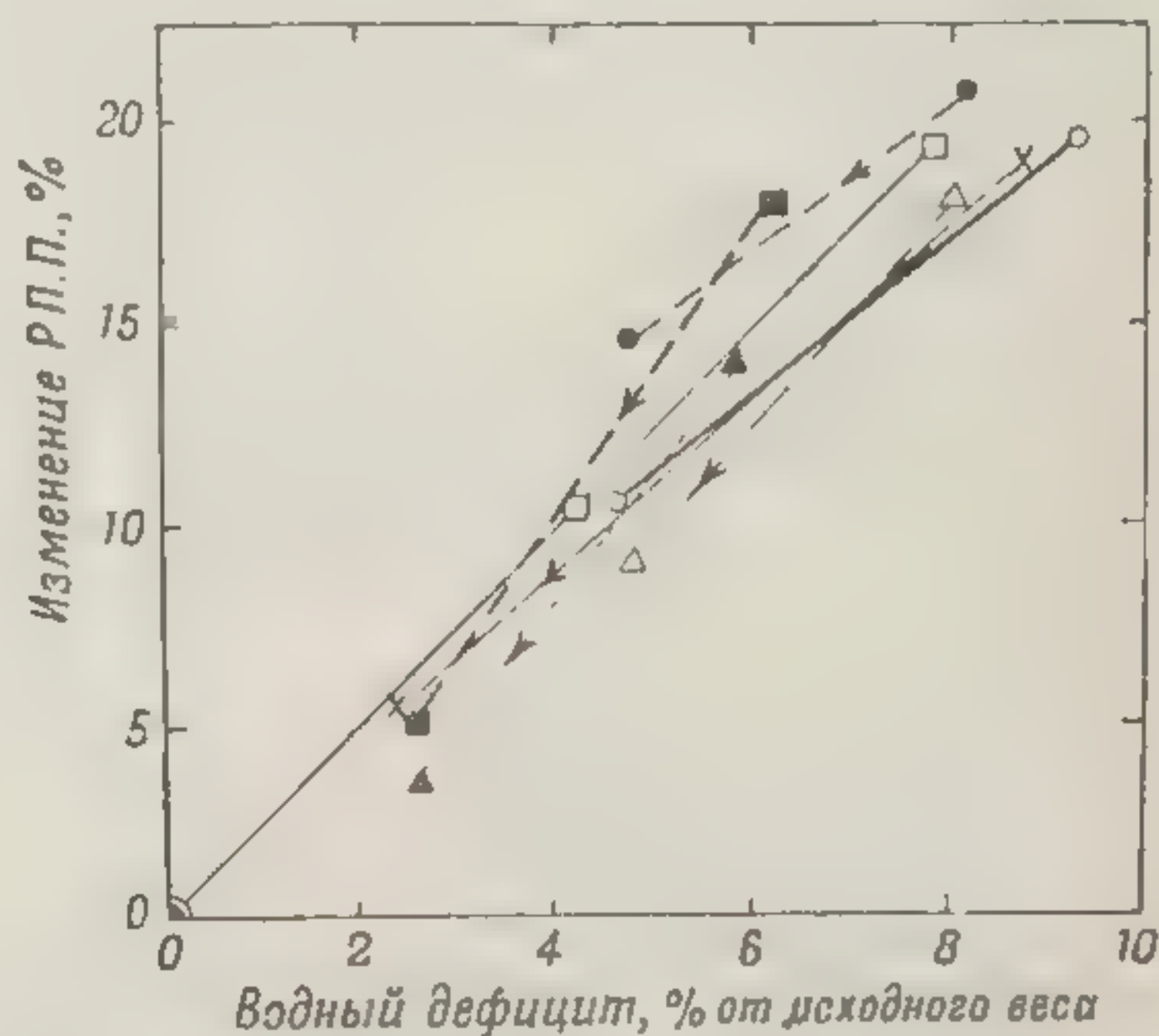
Поскольку при восстановлении водного баланса большая часть воды выпивалась в течение первых 10 мин., то, до того как выпитая вода всасывалась, приходилось ждать не больше 1 часа. Отношение увеличения разности между показателями преломления к приросту веса тела остается неизменным как в состоянии



обезвоживания организма, так и при восстановлении нормального водного баланса (фиг. 78). Этот факт указывает на то, что специфическое распределение воды между плазмой и тканями остается постоянным, в каком бы направлении ни происходили изменения в содержании воды в организме. После того как вода всосалась, распределение ее не изменяется со временем. Подобные же результаты были обнаружены на собаках [8].



Фиг. 77. Зависимость изменения разности между показателями преломления сыворотки от степени водного дефицита. Δ — испытуемые в состоянии обезвоживания организма, вызванного походом в пустыне без воды; \circ — двое испытуемых в состоянии обезвоживания организма, вызванного пребыванием в пустыне в покое без воды; \bullet — испытуемые в состоянии обезвоживания организма, вызванного работой в тепловой камере; \square — испытуемые в состоянии обезвоживания организма, вызванного пребыванием в тепловой камере в покое.

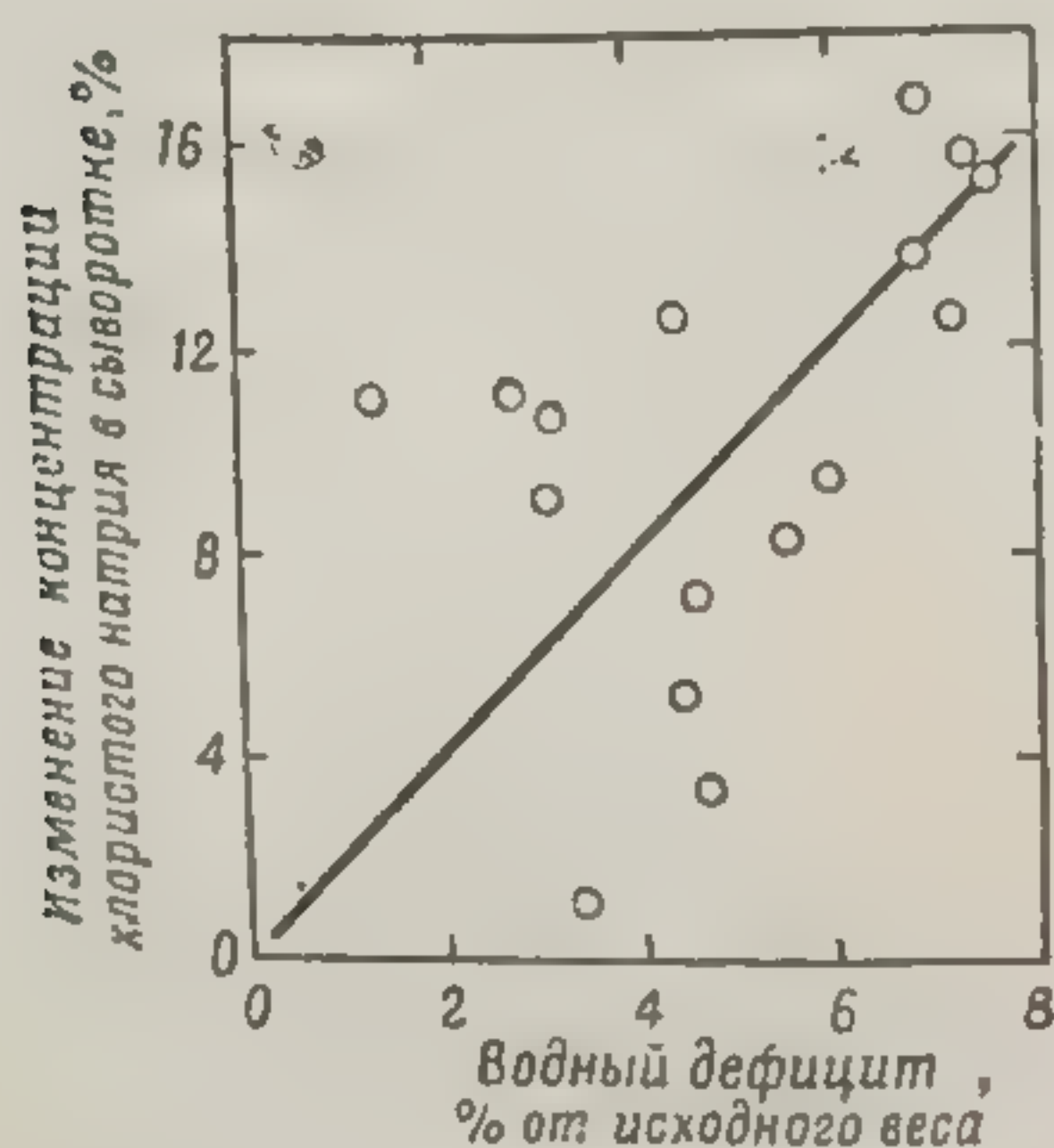


Фиг. 78. Зависимость изменения разности между показателями преломления сыворотки от степени водного дефицита во время восстановления нормального водного баланса (7 определений). Вода потреблялась без ограничения, примерно за 1 час до того, как бралась вторая проба. В каждом определении значки, соответствующие данным, полученным до наступления состояния обезвоживания организма, расположены на нижнем конце прямых; значки, соответствующие данным, полученным при максимальном обезвоживании организма, — на верхних концах прямых и, наконец, значки, соответствующие данным, полученным при восстановлении водного баланса, лежат между ними.

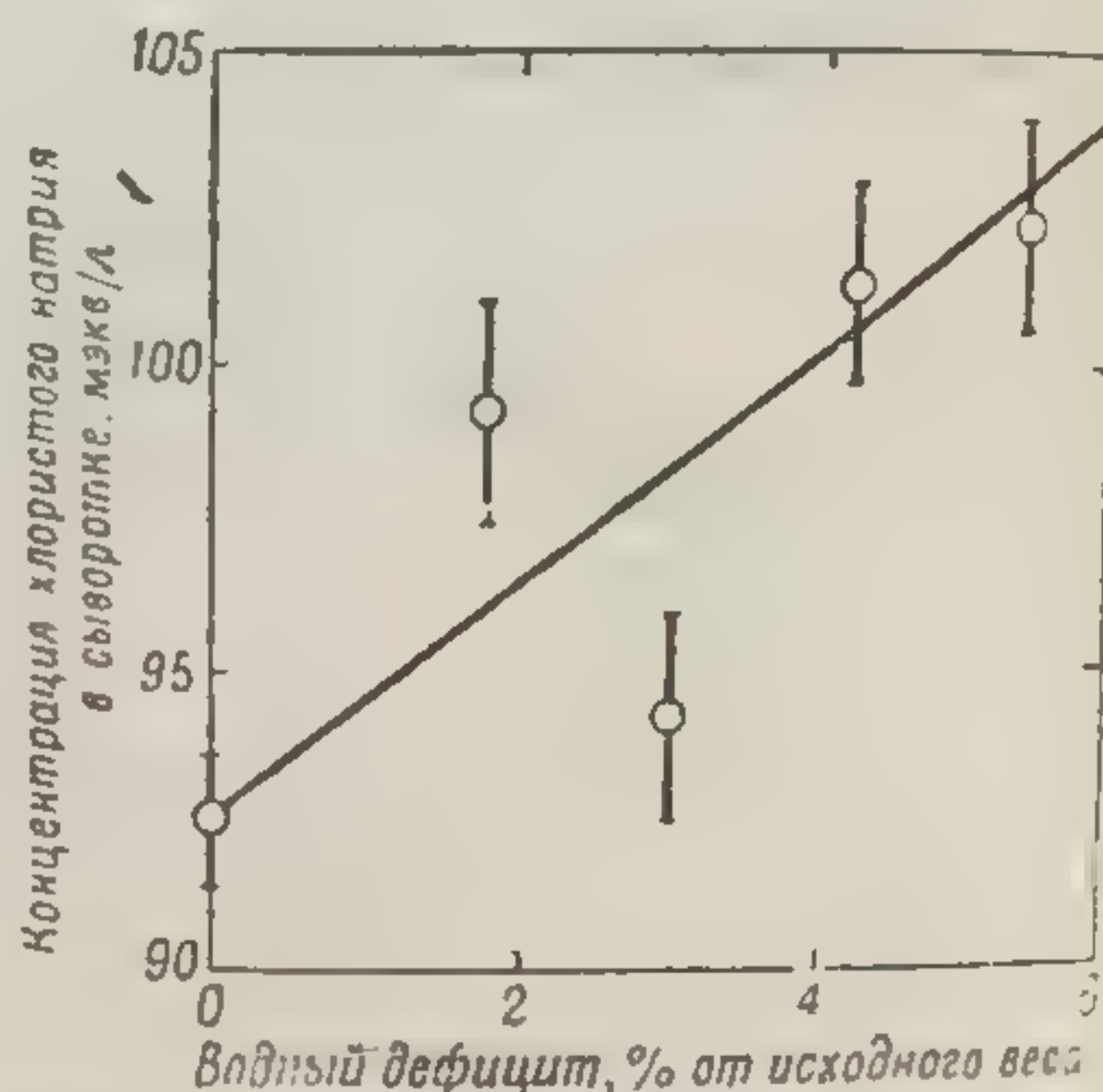
Совершенно очевидно, что разность между показателями преломления можно использовать в качестве удобной меры водного дефицита. При ее определении нужно, чтобы одна из двух небольших проб крови была взята у испытуемого с нормальным водным балансом; в случае крайней необходимости — после восстановления нормального водного баланса.

Концентрация отдельных веществ в крови

Вместо того чтобы определять, какие изменения произошли при дегидратации в общем количестве водонерастворимых веществ сыворотки крови (главным образом белков), можно определять изменения в содержании отдельных химических веществ, таких, как хлористый натрий, небелковый азот, мочевины и сахар.



Фиг. 79. Зависимость между изменением концентрации хлористого натрия в сыворотке крови и водным дефицитом. Первое из каждой пары определений производилось при нормальном водном балансе, второе — на том же испытуемом, находящемся в состоянии обезвоживания организма вследствие похода в пустыне без воды. Каждый кружок обозначает отдельное определение.



Фиг. 80. Зависимость между концентрацией в сыворотке крови хлористого натрия и водным дефицитом у испытуемых, находившихся в тепловой камере. Каждый кружок представляет собой среднее из 22 определений со стандартной ошибкой (\pm).

Концентрация хлористого натрия в сыворотке (измеряемая титрованием) [9] повышается у испытуемых, находившихся в состоянии дегидратации в результате как походов в пустыне, так и пребывания в тепловой камере (фиг. 79, 80). Хотя некоторое количество хлористого натрия и расходуется на образование пота, однако известно, что концентрация пота гораздо ниже, чем концентрация сыворотки крови, и, следовательно, последняя теряет, по видимому, незначительное количество хлористого натрия. Наклон линий регрессии, выражающих зависимость между изменениями концентрации хлористого натрия и веса тела в двух графиках, равны 2,0 и 1,8 и, следовательно, несколько меньше, чем наклон линий регрессии, выражающих зависимость между изменениями разности показателей преломления и веса тела. При обезвоживании организма концентрация хлористого натрия в сыворотке стано-

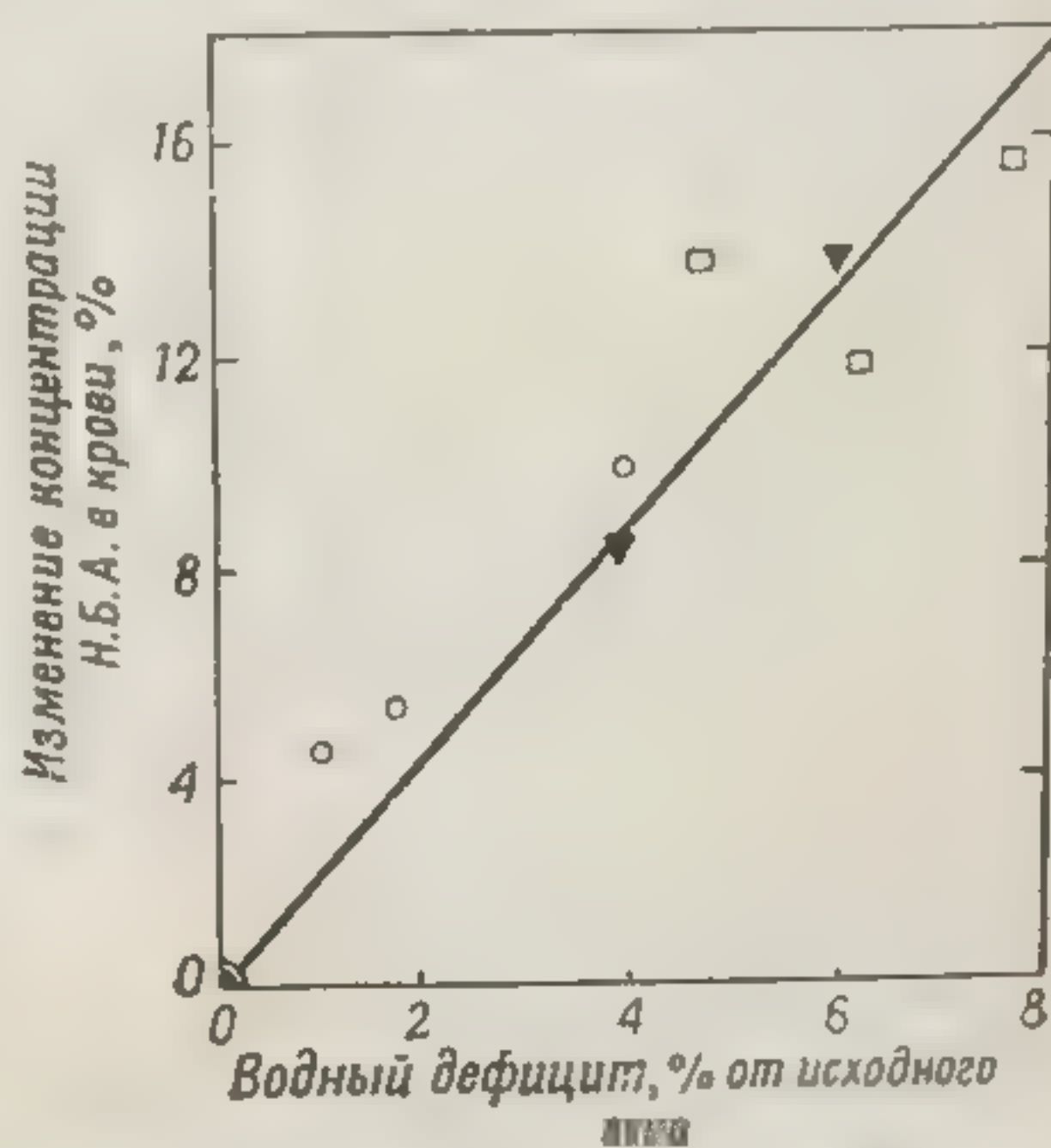
вится выше нормальной; при восстановлении нормального водного баланса она возвращается к норме.

Сходным образом изменяется и концентрация небелкового азота в цельной крови. В течение 12 час. от начала потоотделения (семь случаев дегидратации с упражнением и без них) концентрация небелкового азота, измеренная по методу Коха [10], повышалась пропорционально увеличению водного дефицита в организме (фиг. 81). Установленное при этом отношение (2,2) примерно такое же, как и для общей концентрации твердых веществ в плазме.

В концентрации в цельной крови мочевины, определяемой при помощи колориметрического метода Баркера [11], в 58 анализах не было обнаружено изменений, несмотря на то, что водный дефицит в организме при этом достигал 6% веса тела. Однако эти результаты нельзя считать достаточно убедительными, так как различия в пищевом рационе и неизбежные ошибки при проведении анализов приводят к такому колебанию результатов, которое может совершенно затемнить незначительное действие, оказываемое дегидратацией. При нормальном водном балансе высокая температура не влияет на концентрацию мочевины в крови. Это свидетельствует о том, что большее увеличение количества небелкового азота происходит у людей, когда они впервые подвергаются в течение 3—4 дней действию высокой температуры, и у людей, находящихся в таких условиях в течение месяцев [12].

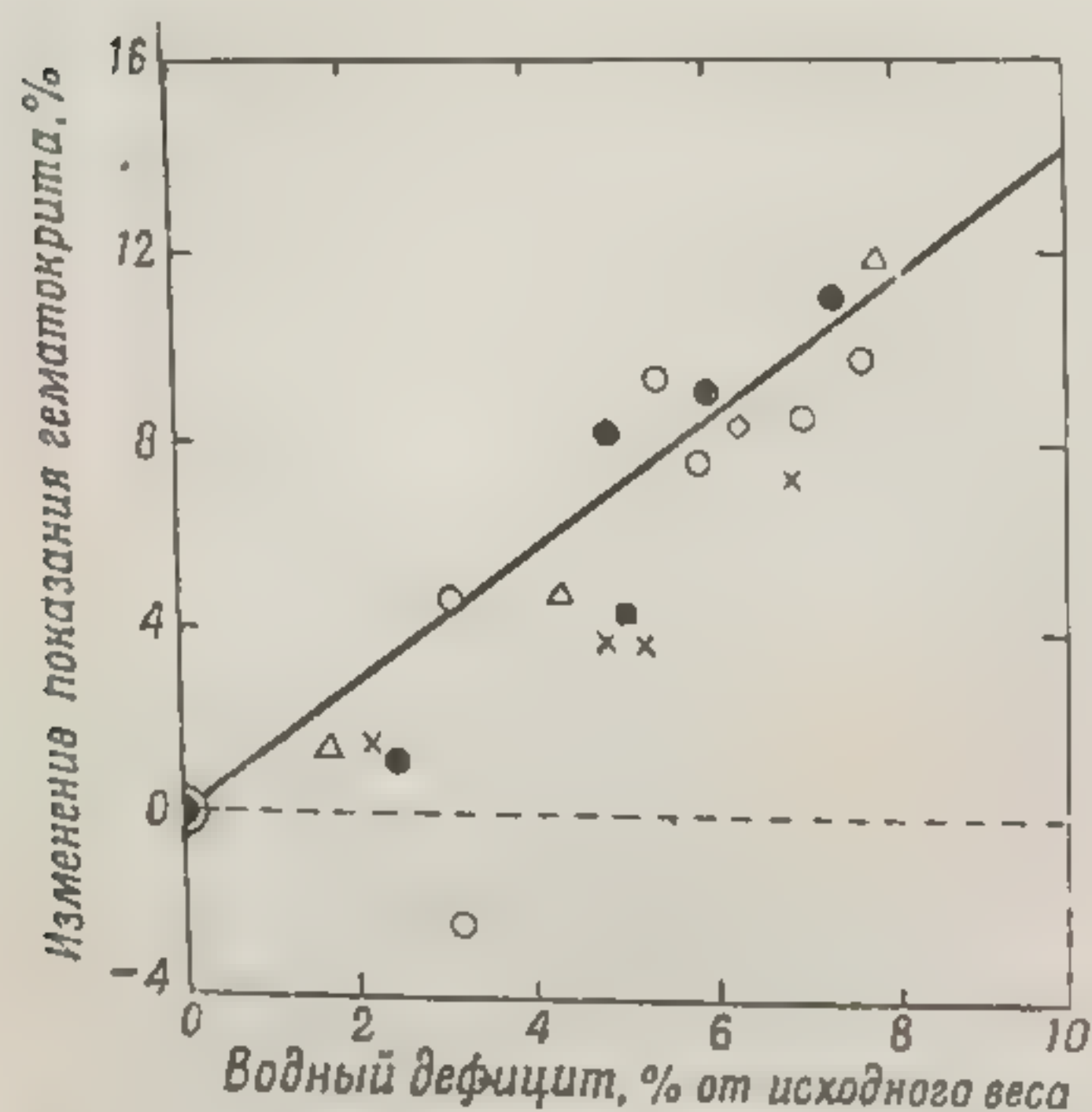
Результаты определений хлористого натрия и небелкового азота указывают на то, что потеря воды плазмой крови не сопровождается уменьшением количества растворимых веществ. Поскольку это одинаково справедливо и в отношении общего количества твердых веществ и в отношении белковых фракций, совершенно ясно, что из крови исчезает только вода, причем объем этой воды соответствует уменьшению объема плазмы.

Определения при помощи гематокрита были сделаны в 5 случаях дегидратации. Относительный объем, занимаемый кровяными тельцами, в среднем возрастает примерно в 1,45 раза больше, чем уменьшается вес тела (фиг. 82). Эти и вышеизложенные данные показывают, что кровяные тельца так же, как и плазма крови,

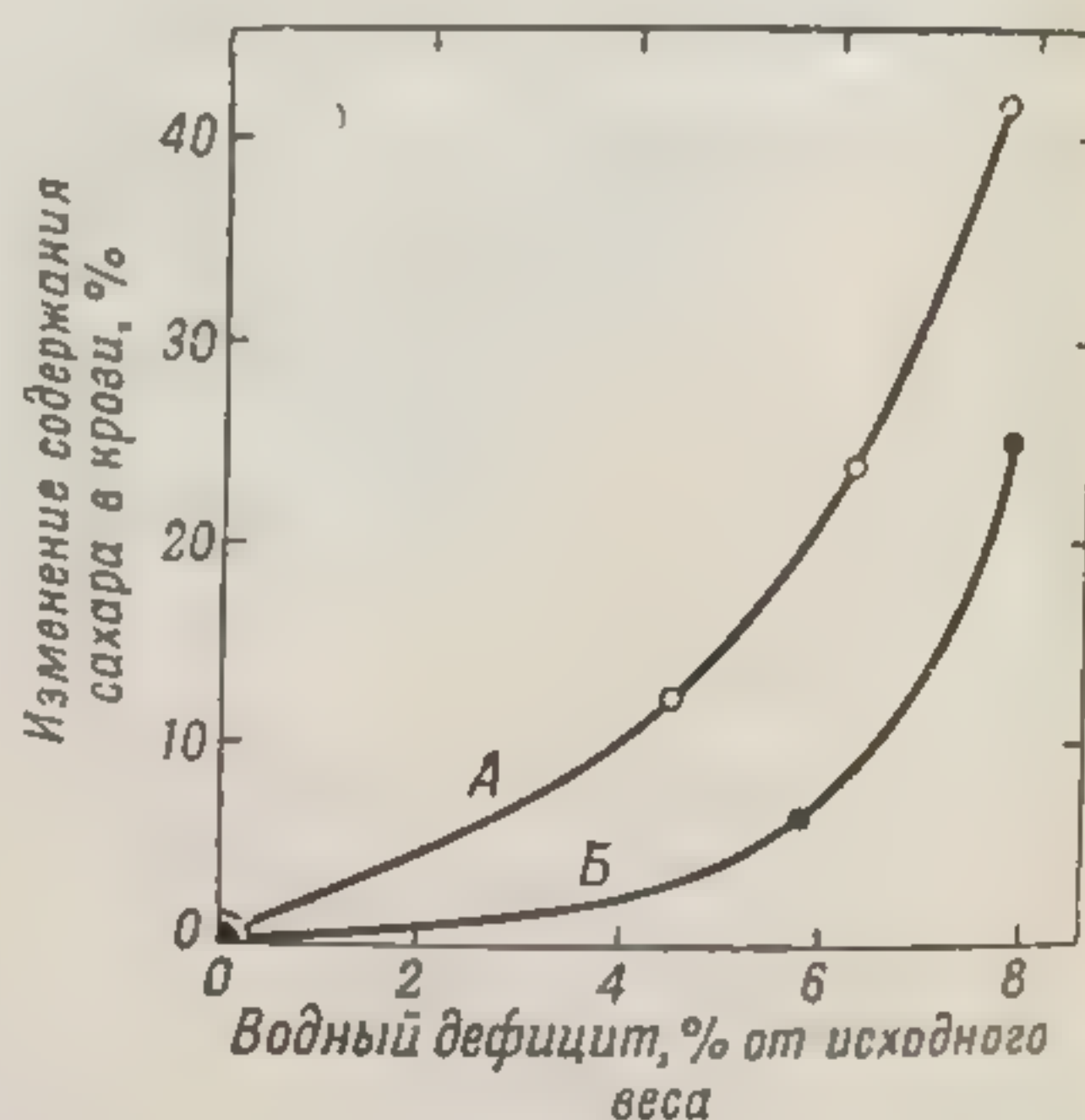


Фиг. 81. Зависимость между концентрацией в крови небелкового азота и водным дефицитом. Каждый значок представляет собой среднее для испытуемых, находившихся без пищи и питья в тепловой камере. Одинаковые значки соответствуют определениям, сделанным в течение одного дня.

отдают воду, но плазма теряет больше воды. Если бы форменные элементы не поступали в кровяное русло и не удалялись из него, то вследствие высокого содержания солей их объем должен был бы уменьшаться в меньшей степени, чем объем плазмы крови (примерно на $\frac{2}{3}$). В действительности же уменьшение объема кровяных телец составляет примерно $\frac{1}{3}$ от уменьшения объема плазмы. Возможно, что кровь во время дегидратации теряет только воду; столь



Фиг. 82. Зависимость между увеличением отношения объема кровяных телец к объему цельной оксалатной крови и водным дефицитом. Наклон линии 1,45. Одинаковыми значками обозначены измерения, проведенные в течение одного эксперимента.



Фиг. 83. Зависимость между изменением содержания в крови сахара и водным дефицитом. Средние данные для трех испытуемых, находившихся в тепловой камере без пищи и питья: А — 1-й день; Б — 2-й день.

же вероятно, что некоторое количество кровяных телец из кровеносных органов выводится в русло крови. Так как отношение объема эритроцитов к объему плазмы возрастает, то объем цельной крови уменьшается пропорционально несколько меньше, чем объем плазмы. В то же самое время кровь становится более вязкой, и поэтому она циркулирует по мелким кровеносным сосудам гораздо медленнее.

Концентрация сахара в цельной крови, определяемая по методу Шаффера [13], у голодных испытуемых при дегидратации, как правило, повышается. График фиг. 83, построенный на основании данных 9 случаев дегидратации, показывает, что повышение концентрации сахара больше, чем степень дегидратации. Действительно, повышение концентрации сахара опережает потерю воды сывороткой крови. Это указывает на то, что сахар активно поступает в кровь при приближении дегидратационного истощения, а также свидетельствует о том, что состояние истощения никоим образом не свя-

изменения
с помощью
и другие
возникновения

Фактическую по
определить путем изм
ся в них веществ. М
человека. Исследова
что ни одна ткань
было судить о процес
воды, чем плазма к

Уменьшение объ
введения краски, бы
концентрации или
вершено ясно свид
ганизма в результа
практически ничего
рования белков пу
белкового азота и

гематокрита подтве
крови. Так как пла
кроме воды, то мож
происходит только
этому распределени

отдается в одина
нами. Напротив, н
воды, в то время к
было предположить
это неблагоприятно
в равной мере наб

При дегидратаци
так же, как и объем
но меньше, чем об
При более глубо
нятым и неравно
Непропорциона
казывает, что объ
дегидратации. В эт
ся при наличии сл

тательной функци
снабжения органов
со стороны сердца
статочного колич
объема плазмы кр
водой всего орга

6

11. 11. 11.

11. 10. 1917

11. 11. 11.

M. 1. n.
 P. 1. n.
 L. 1. n.
 S. 1. n.
 T. 1. n.
 U. 1. n.
 V. 1. n.
 W. 1. n.
 X. 1. n.
 Y. 1. n.
 Z. 1. n.

Непропорционально большая потеря воды плазмой крови показывает, что объем крови сильно уменьшается даже при умеренной дегидратации. В этом случае циркуляция крови должна совершаться при наличии слишком малого количества жидкости для нагнетательной функции сердца. Даже при слабой дегидратации кровоснабжение органов нарушается не вследствие какого-либо дефекта со стороны сердца или кровеносных сосудов, а именно из-за недостаточного количества крови для их наполнения. С уменьшением объема плазмы крови можно бороться не только путем снабжения водой всего организма человека. Вода или солевой раствор при

введении в кровь быстро распределялись по всем тканям. Повидимому, только плазма или ее заменители остаются в кровеносных сосудах. Однако возможность насытить водой какую-нибудь одну ткань, оставив другие в состоянии дегидратации, в настоящее время не имеет большого практического значения.

Если степень обезвоживания организма нужно определить не описанным выше путем по потере веса тела, то это удобнее всего сделать по повышению концентрации сыворотки крови. Концентрацию сыворотки можно измерить при помощи рефрактометра или установить ее по удельному весу или сухому остатку.

Так как при дегидратации, наступающей вследствие потоотделения, объем плазмы циркулирующей крови изменяется обратно пропорционально ее концентрации, то мы считаем, что определение степени обезвоживания путем измерения концентрации плазмы крови является более точным.

Выводы

1. У людей, теряющих 1—11% веса тела в результате интенсивного потоотделения в тепловой камере, обнаруживается уменьшение объема плазмы циркулирующей крови. При определении методом введения краски установлено, что объем плазмы уменьшается в 2,5 раза больше, чем объем всего тела.

2. Уменьшение объема плазмы сопровождается повышением общей концентрации сыворотки, как это было установлено по измерению показателя преломления. Этот способ является наиболее точным методом определения изменений крови, и им удобно пользоваться как в полевых, так и в лабораторных условиях.

3. При дегидратации плазма крови теряет по сравнению с другими тканями непропорционально много воды, вследствие чего нарушается кровообращение.

4. Пропорциональные изменения были обнаружены в концентрации хлористого натрия в сыворотке, небелкового азота в крови и в отношении объема эритроцитов к объему плазмы крови. При быстрой дегидратации увеличение концентрации хлористого натрия, мочевины и азота не превышает того увеличения, которого можно ожидать, учитывая величину потери воды. В наших экспериментах концентрация сахара возрастала больше, чем можно было бы ожидать по потере воды кровью. Этот факт, очевидно, имеет определенное значение, хотя число контрольных и экспериментальных определений было невелико.

5. После принятия такого количества воды, которое ликвидирует водный дефицит в организме, концентрация сыворотки крови быстро возвращается к исходному уровню. Следовательно, перераспределение воды совершается с такой же быстротой, как и ее всасывание из кишечного тракта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gibson J. G., Jr., Evelyn K. A., *J. Clin. Investigation*, 17, 153 (1938).
2. Gregersen M. I., Bullock L. T., *Am. J. Physiol.*, 105, 39 (1933).
3. Marx H., *Der Wasserhaushalt des gesunden und kranken Menschen*, Berlin, Springer, p. 79, 1935.
4. Bazett H. C., Sunderman F. W., Doupe J., Scott J. C., *Am. J. Physiol.*, 129, 69 (1940).
5. Glickman N., Hick F. K., Keeton R. W., Montgomery M. M., *Am. J. Physiol.*, 134, 165 (1941).
6. Barbour H. G., Loomis N. M., Frankman R. W., Warner J. H., *J. Physiol.*, 59, 300 (1924).
7. Longworth L. G., *J. Am. Chem. Soc.*, 61, 529 (1939).
8. Adolph E. F., *Physiological Regulations*, Lancaster, Pa., Cattell, p. 222, 1943.
9. Peters J. P., Van Slyke D. D., *Quantitative Clinical Chemistry*, Vol. II, p. 838, Baltimore, Williams & Wilkins, 1932.
10. Koch F. C., McMeekin T. L., *J. Am. Chem. Soc.*, 46, 2066 (1924).
11. Barker S. B., *J. Biol. Chem.*, 152, 453 (1944).
12. Sundstroem E. S., *Univ. Calif. Publ. Physiol.*, 6, 1 (1926).
13. Peters J. P., Van Slyke D. D., *Quantitative Clinical Chemistry*, Vol. II, Baltimore, Williams & Wilkins, p. 466, 1932.
14. Pitts G. C., Johnson R. E., Consolazio F. C., *Am. J. Physiol.*, 142, 253 (1944).
15. Adolph E. F., *Physiological Regulations*, Chapters X and XI, Lancaster, Pa., Cattell, 1943.

Глава XI

КРОВООБРАЩЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА ПРИ ОБЕЗВОЖИВАНИИ, ВЫЗВАННОМ ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Одной из важных функций кровеносной системы является перенос тепла от внутренних органов к поверхности тела. Тепло продуцируется в организме постоянно в количестве 70 ккал/час или более; при напряженной физической деятельности теплопродукция может в 5—10 раз превышать указанную. Поскольку ткани и органы человеческого тела могут нормально функционировать только в очень узких пределах колебания температуры тела (максимальная температура 41,5°), тепло, образующееся в результате процессов обмена, должно полностью выделяться из организма [1].

Скорость передачи тепла зависит от скорости притока крови к коже и от температурного градиента между внутренними органами и кожей. Тело человека может отдавать тепло только в том случае, если температура его поверхности ниже температуры внутренних органов. В умеренном климате кожа остается прохладной не за счет выделенного пота. Когда же в результате напряженной физической деятельности теплопродукция организма усиливается, теплоотдача путем конвекции и излучения становится недостаточной и особое значение приобретает теплоотдача за счет испарения выделяющегося пота. При высокой температуре окружающей среды, т. е. при температуре воздуха, превышающей 33° [2], теплоотдача путем конвекции и излучения выражается в отрицательных величинах вследствие того, что температура воздуха выше температуры кожи. В этих условиях при испарении отдается не только тепло, продуцируемое в течение процесса обмена, но и тепло, поступившее из окружающей среды.

Несмотря на большую величину потоотделения, при высокой температуре окружающей среды температура кожи все же выше, чем при умеренной температуре окружающей среды. В табл. 28 приводятся некоторые данные относительно температуры кожи в пустыне, собранные в Боулдер-Сити, штат Невада [3].

Мы произвели очень большое количество измерений температуры кожи в тепловой камере, но, поскольку они полностью совпадают с опубликованными данными [4], мы их здесь не приводим. Совершенно ясно, что температурный градиент между внутренними органами и кожей в условиях пустыни уменьшается. В этих

КРОВООБРАЩЕНИЕ
ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА

Испытуемый	Средняя температура кожи в тени ¹⁾	Результат
А	34,4 (9)	
Б	34,1 (12)	
В	34,3 (5)	
Г	34,2 (13)	
Е	32,4 (5)	
Среднее	33,9	

¹⁾ Каждая цифра, 3 или 10 участков; на

условиях отдачи
организме тепла тр
Обычно такое ус
шением темпера

Ча
Зависимость
ви или минут
ров. Однако пом
ся специфическ
в кровообращен
пряжения кров
Сохранение
зависит от мин
В определенных
детельствует о
высокой частот
кровью. Друг

Таблица 28

ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА У 5 ИСПЫТУЕМЫХ В ПУСТЫНЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Испытуе- мый	Средняя темпера- тура кожи в тени ¹⁾	Разность между ректальной температу- рой и тем- пературой кожи в те- ни	Среднее повыше- ние рек- тальной темпера- туры у лю- дей, сидя- щих на солнце- пеке	Разность между рек- тальной температу- рой и тем- пературой кожи у лю- дей, сидя- щих на солнце- пеке	Среднее повыше- ние рек- тальной темпера- туры пос- ле часово- го похода	Разность между ректальной темпера- турой и температурой кожи	
						в течение первых 25 мин. после уп- ражнения	в течение вторых 25 мин. после уп- ражнения
А	34,4 (9)	2,6 (9)	0,5 (2)	2,9 (6)	1,2 (19)	4,6 (9)	3,8 (8)
Б	34,1 (12)	3,1 (12)	0,1 (3)	1,8 (9)	0,75 (29)	—	—
В	34,3 (5)	2,8 (5)	0,0 (2)	3,2 (4)	0,7 (14)	—	—
Г	34,2 (13)	3,4 (13)	0,1 (3)	2,7 (5)	0,6 (4)	4,8 (4)	4,1 (3)
Е	32,4 (5)	4,5 (5)	0,1 (2)	2,3 (5)	0,8 (6)	—	—
Среднее	33,9	3,4	0,2	2,5	0,7	4,7	3,9

¹⁾ Каждая цифра, характеризующая температуру кожи, является средней для 9 или 10 участков; на число полученных средних указывает цифра в круглых скобках.

условиях отдача определенного количества продуцируемого в организме тепла требует усиления периферического кровообращения. Обычно такое ускорение циркуляции крови сопровождается повышением температуры тела.

Частота пульса в условиях пустыни

Зависимость между частотой пульса и общей циркуляцией крови или минутным объемом сердца, определяется рядом факторов. Однако помимо краткого общего описания мы почти не касаемся специфических деталей возможных компенсаторных изменений в кровообращении и частоту пульса принимаем за показатель напряжения кровеносной системы.

Сохранение нормальной циркуляции крови в каждой части тела зависит от минутного объема сердца и от вазомоторной регуляции. В определенных пределах увеличение частоты пульса обычно свидетельствует об увеличении минутного объема сердца, хотя при высокой частоте пульса сердце может не успевать заполняться кровью. Другой фактор, влияющий на минутный объем сердца, —

это обратный ток крови в венах. Если венозное давление нормально, то сердце быстро наполняется кровью и объем выталкиваемой крови при каждом сокращении велик; если же венозное давление низко, сердце медленно наполняется кровью и объем выталкиваемой при каждом сокращении крови уменьшается. Таким образом, изменение венозного давления может также отражаться на частоте пульса.

В табл. 29 приводятся эксперименты, проводившиеся в условиях как вызывающих увеличение минутного объема сердца, так и сохраняющих его на прежнем уровне при уменьшении объема циркулирующей крови. Первый случай имеет место во время работы и, по всей вероятности, при действии высокой температуры. Второй, очевидно, наблюдается при дегидратации (в результате потери кровью жидкости) в вертикальном положении и при пассивном наклоне тела при помощи перемещающейся крышки стола (вследствие застоя крови в конечностях). Во всех этих положениях возрастает частота пульса [5].

Таблица 29

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА НА ЧАСТОТУ ПУЛЬСА

Испытуемый	Число опытов	Частота пульса при 21,1°		Частота пульса при 48,8°	
		в горизонтальном положении	в вертикальном положении	в горизонтальном положении	в вертикальном положении
А	4	59	80	66	97
Б	6	81	93	84	111
В	2	61	88	75	102
Г	4	67	95	78	106
Д	3	69	83	77	99
Е	3	51	70	57	79
Ж	3	57	62	72	76
З	4	76	96	82	110
И	4	91	108	88	110
К	4	71	84	75	96
Л	4	80	92	87	106
Среднее	3,7	69	86	76	99

Факторы, вызывающие учащение пульса

Работа. При выполнении физической работы увеличивается потребность мышц в крови. Мышечные сокращения, сдавливая вены, ускоряют обратный ток венозной крови к сердцу, и частота пульса возрастает даже при выполнении работы средней тяжести. Так, например, у испытуемого, упражнявшегося на эргометрическом

велосипеде при температуре $48,8^{\circ}$ в течение 15 мин., со средней нагрузкой 190 кгм/мин, частота пульса составляла 89 ударов/мин., а в лежащем положении до начала эксперимента — 75 ударов.

Высокая температура. При высокой температуре окружающей среды вместе с более интенсивной отдачей тепла поверхностью тела возрастает и потребность в усилении периферического кровообращения. Табл. 29 иллюстрирует действие высокой температуры на частоту пульса. Каждый испытуемый подвергался сначала действию умеренной ($21,1^{\circ}$), а затем высокой ($48,8^{\circ}$) температуры. В среднем частота пульса увеличивалась от 69 до 76 ударов/мин. в тех случаях, когда во время счета пульса испытуемые лежали, и от 86 до 99 — когда они стояли.

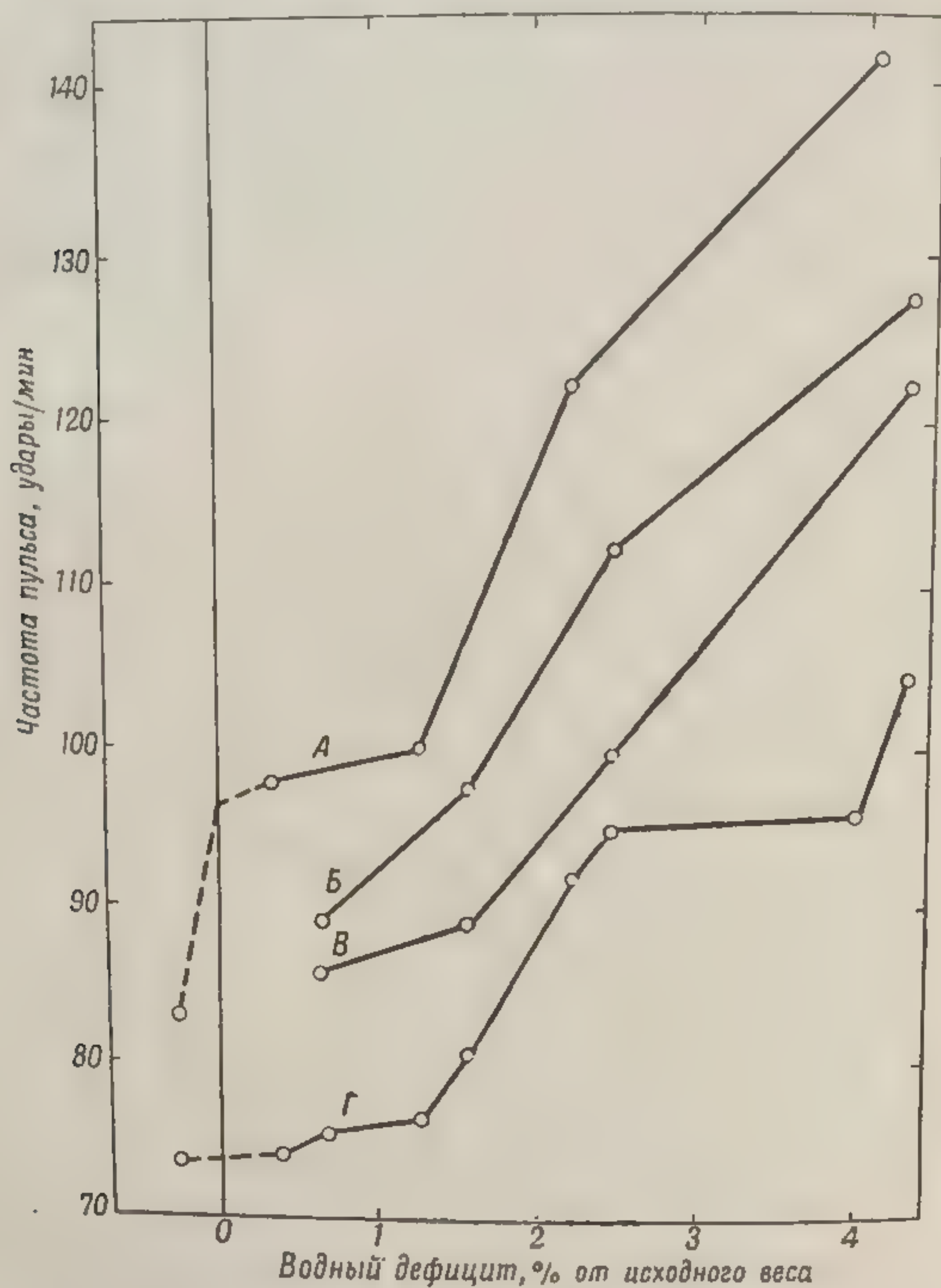
Положение тела. Вертикальное положение при полной неподвижности приводит к застою крови в конечностях, что сильно уменьшает объем циркулирующей крови. Данные табл. 29 показывают, что вертикальное положение увеличивает частоту пульса как при низкой, так и при высокой температуре воздуха в помещении. В первом случае средняя частота пульса у испытуемых в горизонтальном положении была 69 ударов/мин., а в вертикальном — 86. Во втором — в горизонтальном положении — 76, а в вертикальном — 99. Таким образом, учащение пульса, вызванное вертикальным положением, усиливается под влиянием высокой температуры окружающей среды.

Обезвоживание при высокой температуре. Обезвоживание организма вызывает значительное уменьшение объема циркулирующей крови и сильно затрудняет сохранение нормального кровоснабжения. В серии экспериментов испытуемый подвергался дегидратации в тепловой камере¹. На фиг. 84 можно видеть, что дегидратация приводила к значительному учащению пульса даже в состоянии покоя. В другом эксперименте, в котором тот же испытуемый оставался в тех же условиях, но не подвергался дегидратации, частота пульса в спокойном состоянии не увеличилась.

Обезвоживание организма и положение тела. Пассивное наклонное положение препятствует обратному току венозной крови к сердцу вследствие того, что в конечностях застаивается кровь и временно значительно уменьшается объем циркулирующей крови. Затем возникают компенсаторное учащение пульса и сужение и расширение сосудов [6]. Обычно наблюдается одышка и состоя-

¹ Все лабораторные эксперименты в тепловой камере, упоминаемые в этой главе, были проведены при температуре воздуха $48,8^{\circ}$ и относительной влажности 11—14%.

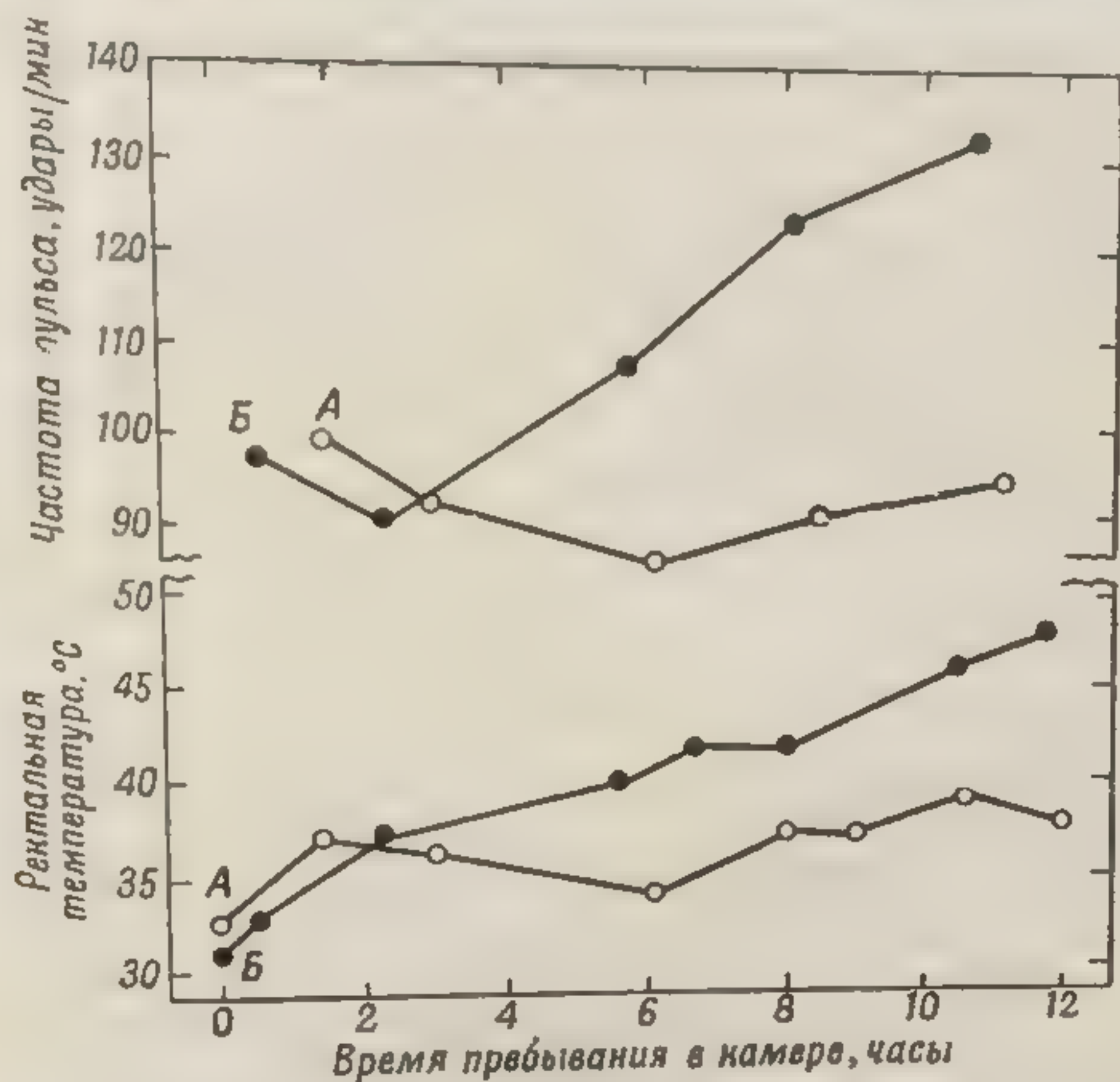
ние возбуждения. Иногда может наступить обморочное состояние. У испытуемых, находящихся в полубморочном состоянии в наклонном положении, частота пульса продолжает увеличиваться



Фиг. 84. Зависимость между частотой пульса и положением тела. Частота пульса в горизонтальном положении определялась после 3 мин. пребывания в этом положении; в вертикальном положении — после 1 мин.; в наклонном положении (ногами вниз) после 1, 3, 5, 7 и 9 мин. (средние данные). А — вертикальное положение; В — наклонное положение под углом 45°; Г — наклонное положение под углом 25°; Г — горизонтальное положение. Первые измерения (А и Г) производились при 21,1° остальные — при 48,8°.

до тех пор, пока не наступает глубокий обморок. У испытуемых, не находящихся в обморочном состоянии, частота пульса за 1—2 мин. достигает определенной высоты, на которой и остается неизменной.

На фиг. 84 показано влияние дегидратации, наступающей при высокой температуре окружающей среды на частоту пульса испытуемого, находящегося в различных положениях. Кривые А, Б, В и Г показывают частоту пульса при вертикальном положении, наклоне в 45° и 25° и при горизонтальном положении. По мере увеличения водного дефицита частота пульса возрастает во всех положениях. На фиг. 85 показана частота пульса у другого испытуемого

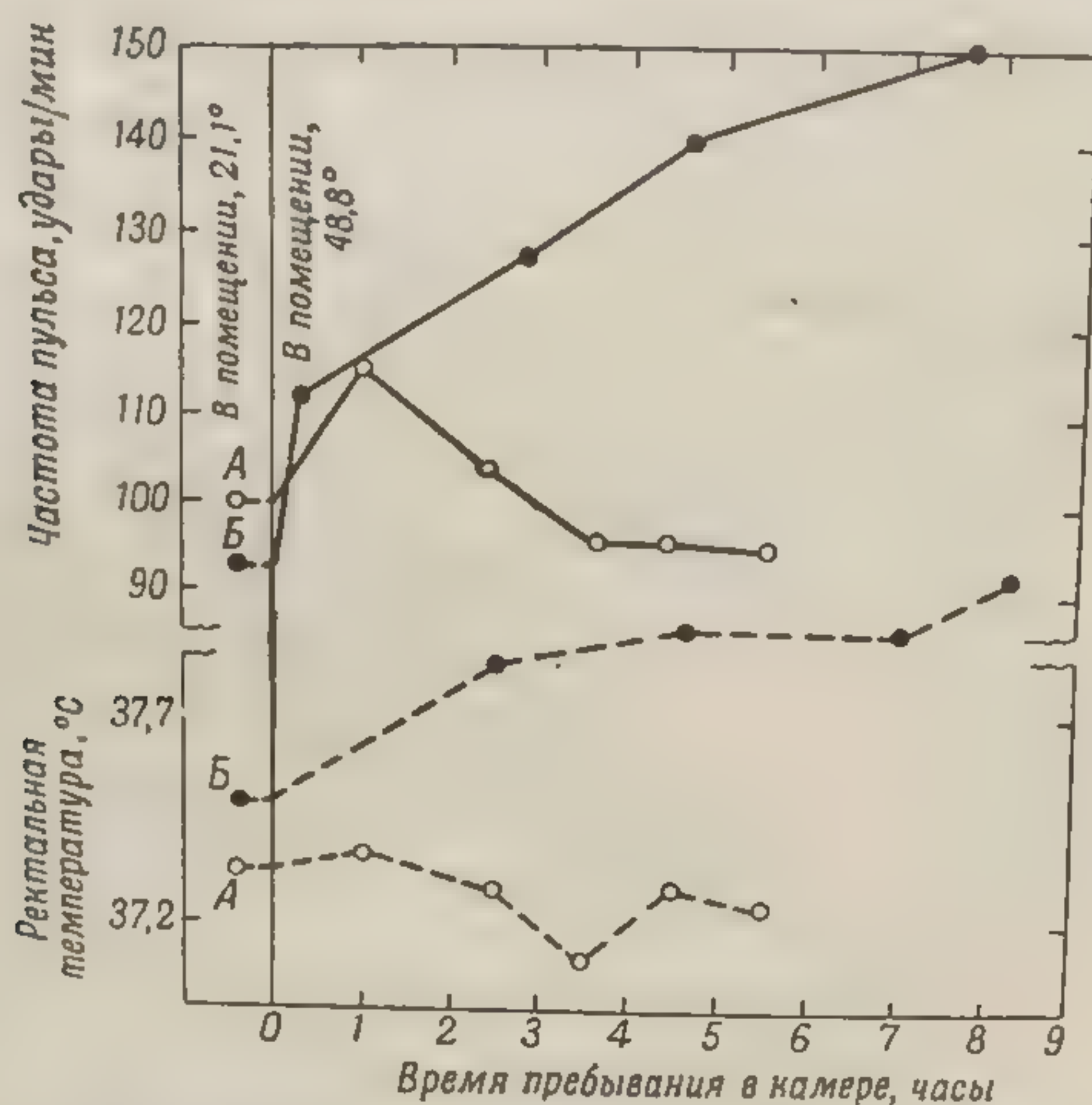


Фиг. 85. Зависимость между частотой пульса, ректальной температурой и продолжительностью действия высокой температуры у испытуемого, находившегося в наклонном положении. Частота пульса определялась после 1, 3, 5, 7 и 9 мин. пребывания в наклонном положении (средние данные). А — вес тела не изменяется; Б — нарастающее обезвоживание, достигавшее 6% веса тела.

в двух экспериментах при наклоне в 45° . В первом эксперименте испытуемый подвергался прогрессирующей дегидратации, в то время как во втором он выпивал количество воды, достаточное для сохранения веса тела. Сопровождающее дегидратацию учащение пульса свидетельствует о том, что водный дефицит сам по себе стимулирует сердечную деятельность.

Вертикальное положение при полной неподвижности также приводит к застою крови в ногах и поэтому уменьшает объем циркулирующей крови. В этом отношении вертикальное положение сходно с пассивным наклонным положением, с тем различием, что в первом случае для поддержания тела необходима определенная степень напряжения мышц. В состоянии крайнего обезвоживания при

вертикальном положении резко усиливается непроизвольное покачивание тела. Напряжение мышц и покачивание несколько компенсируют тенденцию к застою крови, так что при вертикальном положении частота пульса не так явно коррелирует со степенью дегидратации, как при пассивном наклонном положении. На фиг. 86 показана частота пульса в двух экспериментах, проведенных на испытуемом, находящемся в вертикальном положении; во время

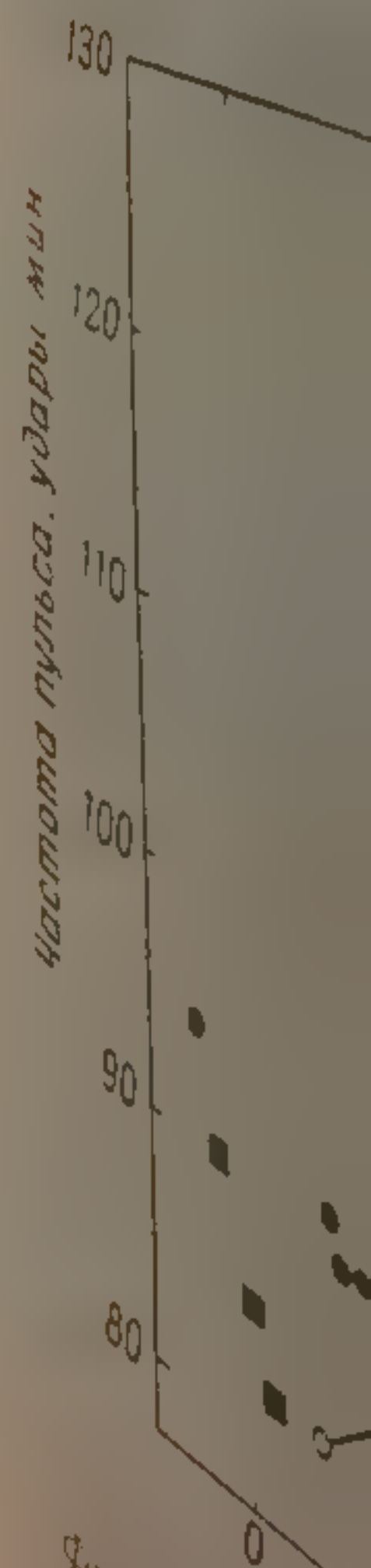
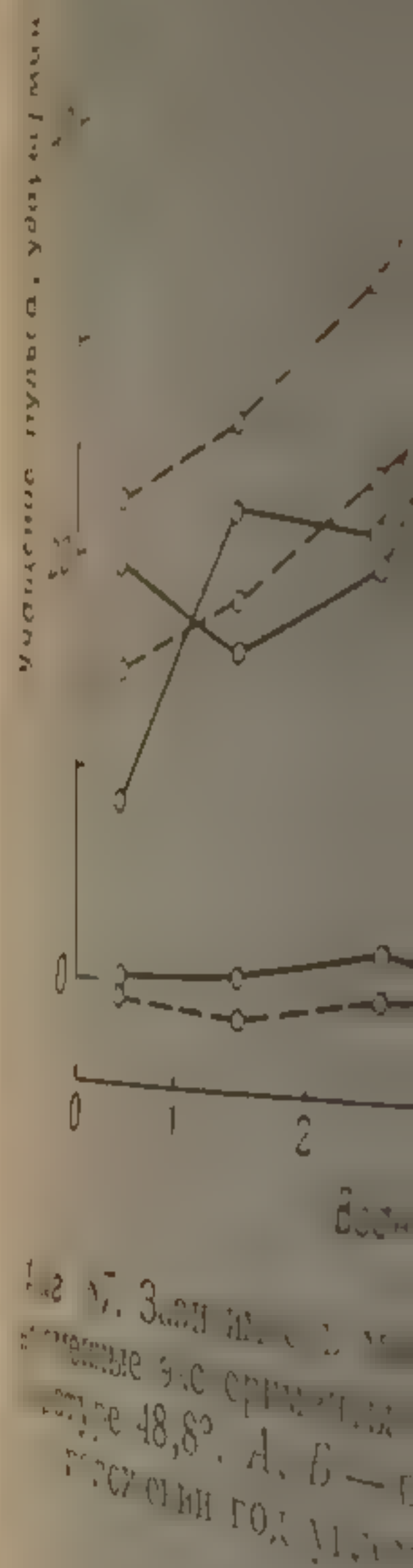


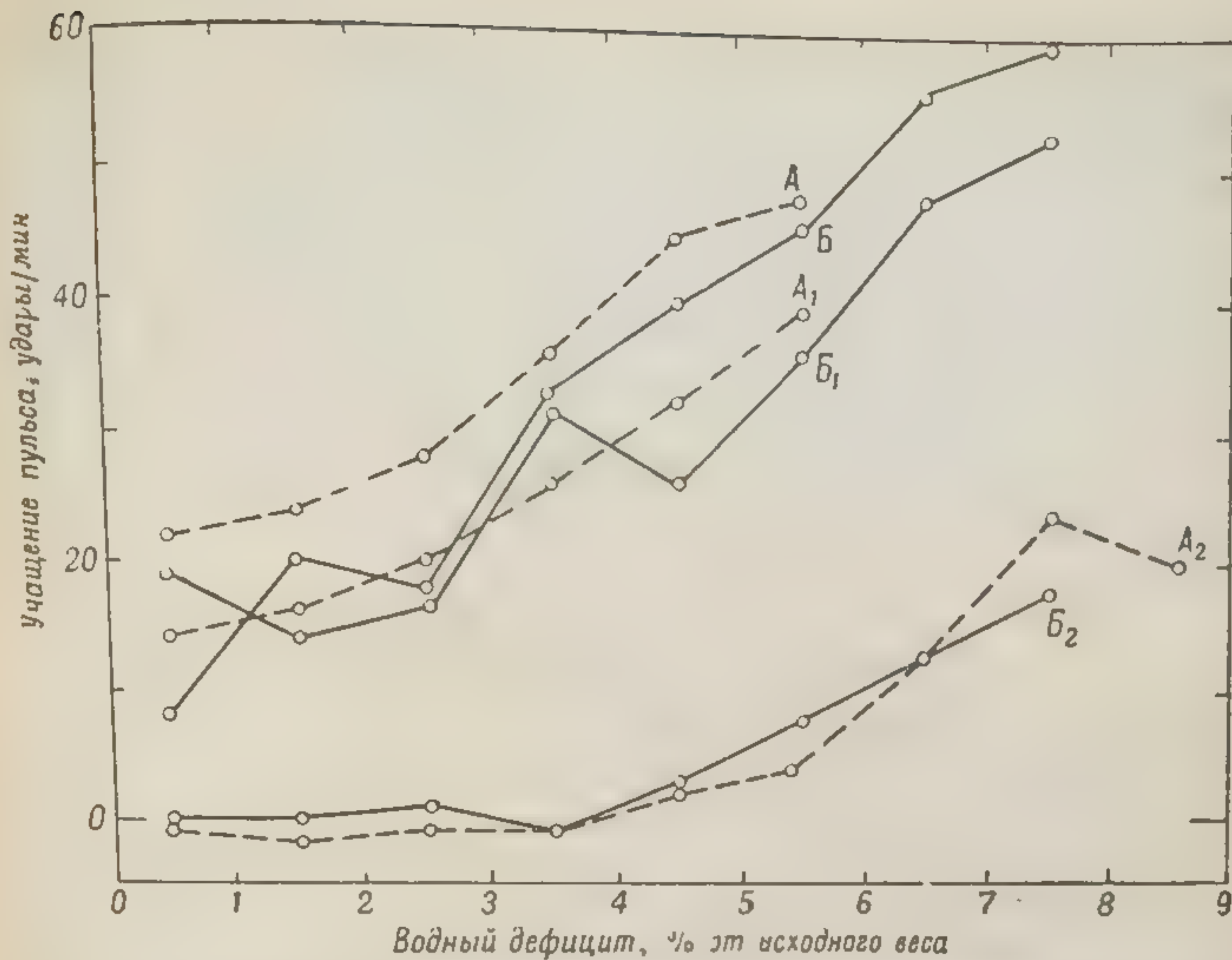
Фиг. 86. Зависимость между частотой пульса и водным дефицитом у испытуемого, находившегося в вертикальном положении. Частота пульса определялась после 1 мин. пребывания в вертикальном положении. А — вес тела не изменяется; Б — нарастающее обезвоживание, достигавшее 6% веса тела.

одного эксперимента испытуемый подвергался дегидратации, во время другого — поддерживал вес тела приемом воды; разница в частоте пульса является следствием дегидратации.

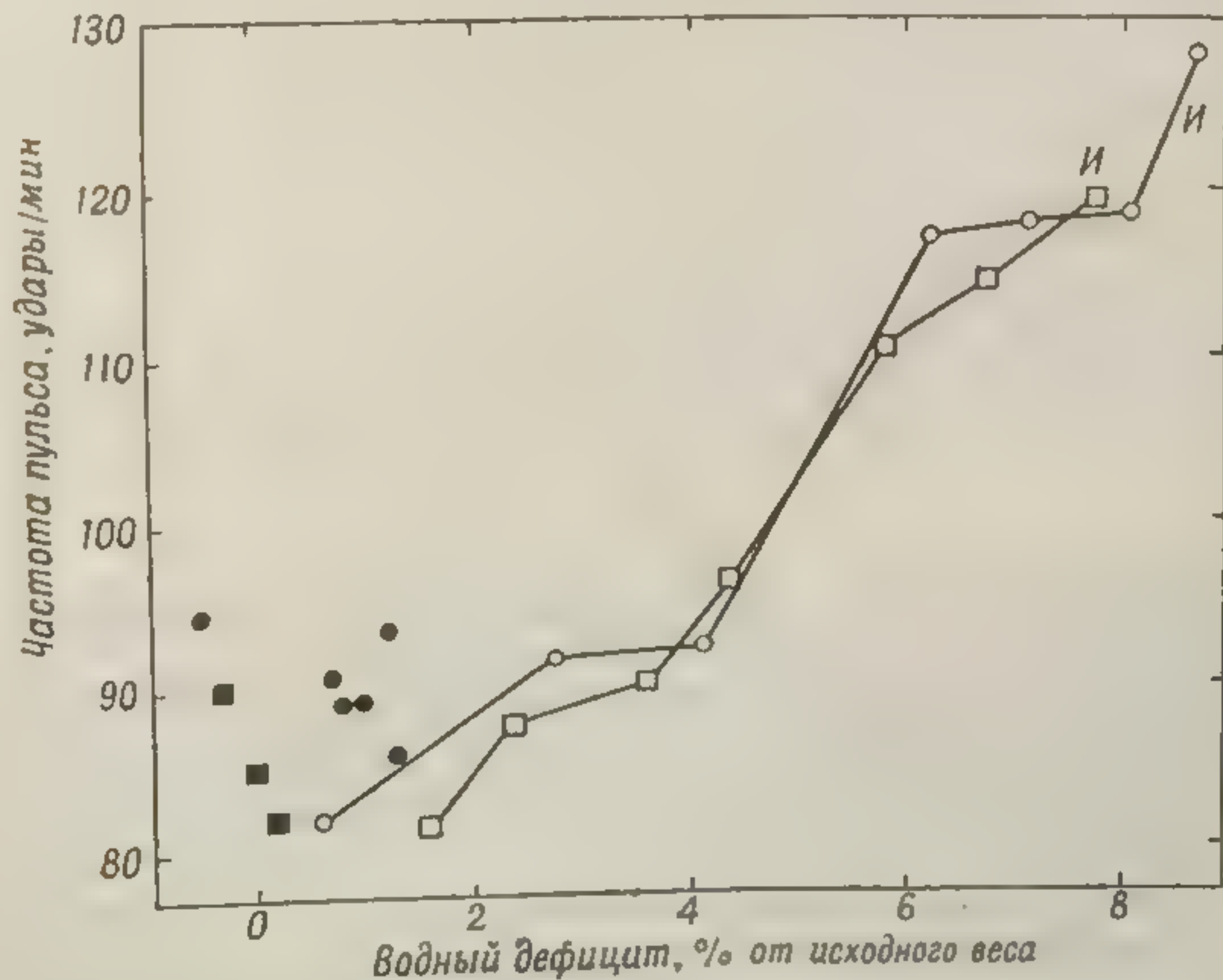
Всякий раз, когда частота пульса используется для определения влияния водного дефицита, пульс следует измерять при вертикальном положении испытуемого, ибо в этом случае он является более чувствительным показателем (фиг. 87).

Обезвоживание организма и работа. На фиг. 88 показано действие обезвоживания на частоту пульса во время работы. Условия всех четырех экспериментов были совершенно идентичными, за исключением того, что в двух случаях испытуемый подвергался





Фиг. 87. Зависимость между частотой пульса и положением тела. Одновременные эксперименты на двух испытуемых, находившихся при температуре $48,8^{\circ}$. А, Б — в вертикальном положении; А₁, Б₁ — в наклонном положении под углом 45° ; А₂, Б₂ — в горизонтальном положении.



Фиг. 88. Зависимость между частотой пульса и водным дефицитом у испытуемого, выполняющего работу. Частота пульса определялась через 15 мин. после начала каждого получасового сеанса работы. Истощение в точке И.
● ■ — с водой; ○ □ — без воды.

дегидратации, а в двух других — был без ограничения. Выполняемая испытуемым работа состояла в 30-минутном упражнении на эргометрическом велосипеде с постоянным грузом; выражалась она в 190 кгм/мин. Во время экспериментов с дегидратацией частота пульса во время работы возрастала до тех пор, пока испытуемый оказывался не в состоянии продолжать эксперимент (на фиг. 88 обозначено буквой И — истощение). В экспериментах без дегидратации пульс заметным образом не учащался и испытуемый не доходил до состояния истощения. Таким образом, мы пришли к выводу, что сама дегидратация ускоряет пульс и предрасполагает к истощению.

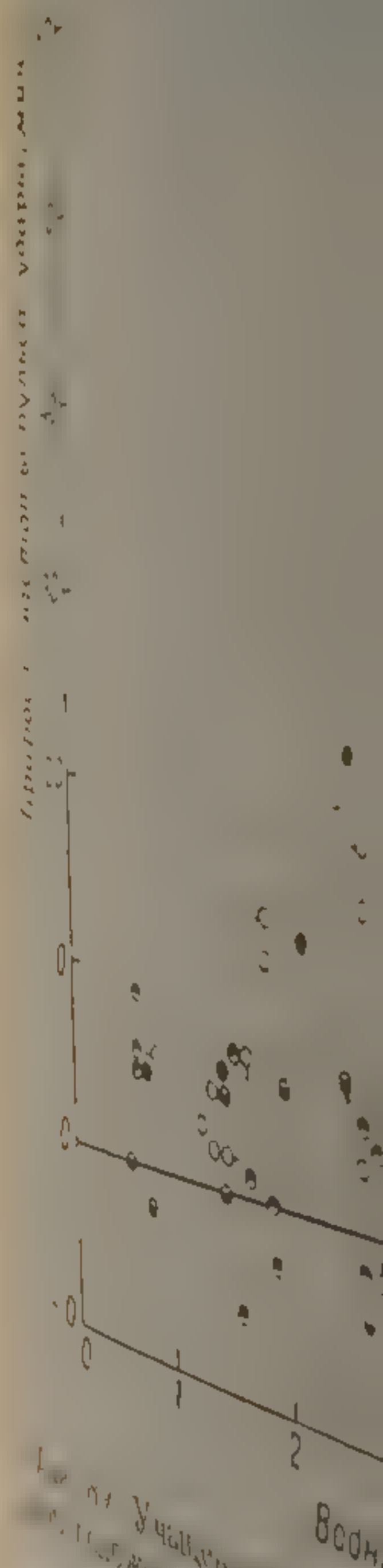
Колебания в частоте пульса

Даже в экспериментах, производимых в строго регулируемых условиях тепловой камеры, наблюдаются значительные индивидуальные колебания в частоте пульса. Они до некоторой степени обусловлены различиями в присущей данному человеку частоте пульса в спокойном состоянии и, кроме того, разной степенью учащения пульса в случае какого-либо напряжения. Когда человек подвергается дегидратации, эти колебания менее заметны и частота пульса возрастает по плавной кривой.

В качестве примеров могут служить фиг. 84 и 88. Данные, полученные на большом числе испытуемых, хотя и обнаруживают явную корреляцию между частотой пульса и дегидратацией, все же колеблются в широких пределах. На фиг. 89 приведен ряд данных по частоте пульса, полученных на 8 испытуемых в 24 экспериментах, проведенных в тепловой камере. Во всех случаях пульс измерялся при вертикальном положении испытуемых. По оси ординат отложен прирост частоты пульса, причем за исходную величину принята частота пульса после 15-минутного пребывания в тепловой камере (0,5-процентная дегидратация). Если пользоваться абсолютной частотой пульса, то разброс точек будет еще больше, чем на фиг. 89.

Кровообращение при обезвоживании организма

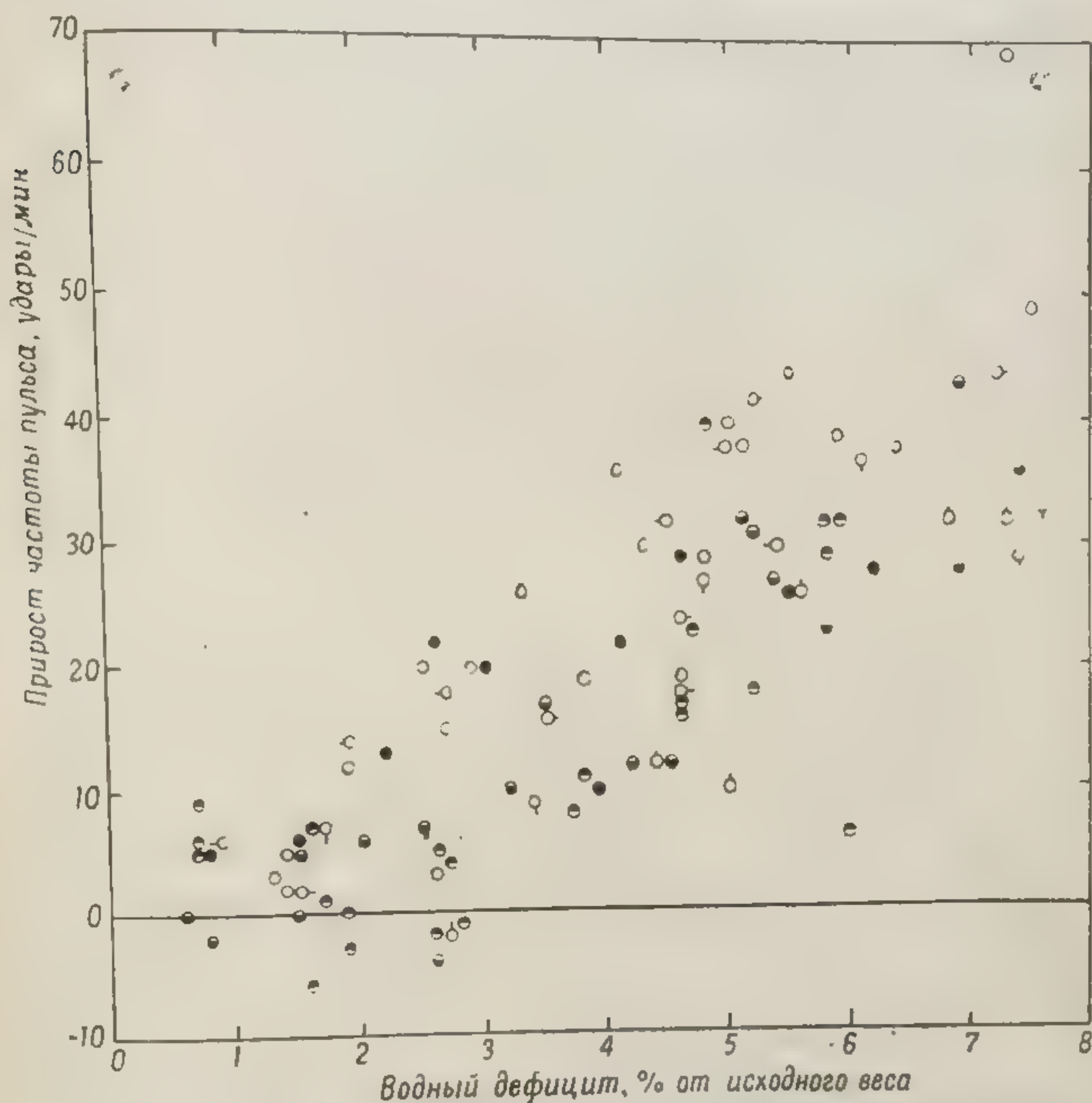
Восстановление нормальной частоты пульса после стандартного упражнения (эргометрический велосипед) было исследовано на 3 испытуемых с различной степенью обезвоживания организма (до 10% веса тела). Было проанализировано свыше 50 кривых восстановления пульса. Соответствующие данные мы получали при помощи длительных электрографических записей. Кривые строились по данным измерения частоты пульса за последовательные промежутки времени, длительностью 0,1 мин., в течение 3 мин. после прекращения упражнений. Не было обнаружено никакой



Учащение пульса
при дегидратации
испытываемых сидело
на показателе, что об
изменениями систо
давления. Однако
стадиях обезво
была восстановле
давления систо
жизни обнаружено

разницы, которая могла бы быть связана с дефицитом воды в организме.

Артериальное давление измерялось при помощи манжетки и стетоскопа в двух сериях экспериментов с дегидратацией. В одной



Фиг. 89. Учащение пульса у испытуемых, находившихся в вертикальном положении при различном водном дефиците. Каждый значок соответствует одному испытуемому.

серии испытуемые сидели, в другой — лежали. Обе серии экспериментов показали, что обезвоживание не сопровождается прогрессивными изменениями систолического, диастолического или пульсового давлений. Однако не было проведено измерений на более поздних стадиях обезвоживания организма, когда неизбежно должен был наступить коллапс.

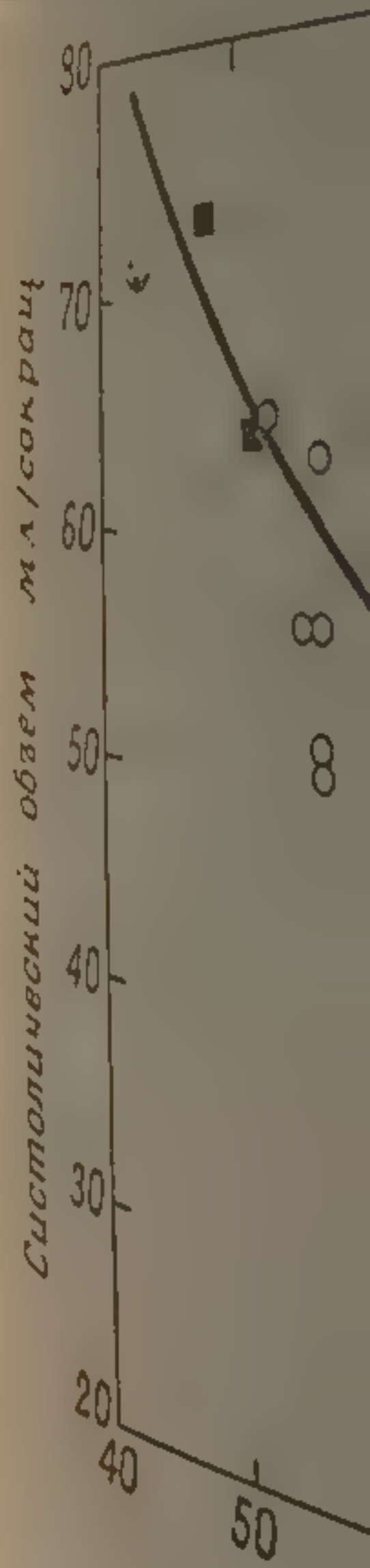
Венозное давление определялось путем непосредственной пункции локтевой вены у лежащего испытуемого. В этом случае также не было обнаружено стойкого изменения давления при дегидратации, достигающей 6% веса тела. Несомненно, более интерес-

ными были бы измерения, сделанные у испытуемых, находящихся в вертикальном положении; однако в этом случае нужные результаты можно было бы получить, вероятно, только путем катетеризации полых вен.

Мы уже пытались объяснить нарушения кровообращения наличием корреляции между объемом крови, частотой пульса и артериальным давлением, с одной стороны, и дефицитом воды в организме — с другой. При всяком динамическом изучении кровообращения очень важны данные о количестве выталкиваемой сердцем крови. Уже указывалось, что уменьшение объема крови, наступающее при обезвоживании организма, ведет к уменьшению систолического объема, т. е. объема крови, выталкиваемой сердцем при каждом сокращении. Это уменьшение объема нагнетаемой крови может быть причиной нарушений кровообращения, которые и обуславливают наблюдаемое при дегидратации учащение сердцебиения. Для того чтобы проверить правильность этой гипотезы, мы определяли минутный объем сердца, считая, что он может быть приблизительно установлен при помощи горизонтального баллистокардиографа [7].

Когда сердце сокращается и выталкивает кровь в аорту, оно отходит назад и сообщает телу направленный клин толчок. Поток крови, ударяясь о стенки кровеносных сосудов, также сообщает телу толчки, особенно в таком месте, как дуга аорты, в котором изменяется направление тока крови. Эти толчки передаются столу баллистокардиографа, на котором лежит испытуемый, и крайне незначительные колебания крышки стола усиливаются и записываются. По величине записанных таким образом волн можно рассчитать предполагаемый систолический объем крови. Общий объем крови, выталкиваемой сердцем в единицу времени, и является минутным объемом сердца. Он вычисляется путем умножения объема крови, выталкиваемой при каждом сокращении (в см^3 на каждое сокращение сердца), на частоту сердечных сокращений (число ударов/мин.) и обычно выражается в л/мин.

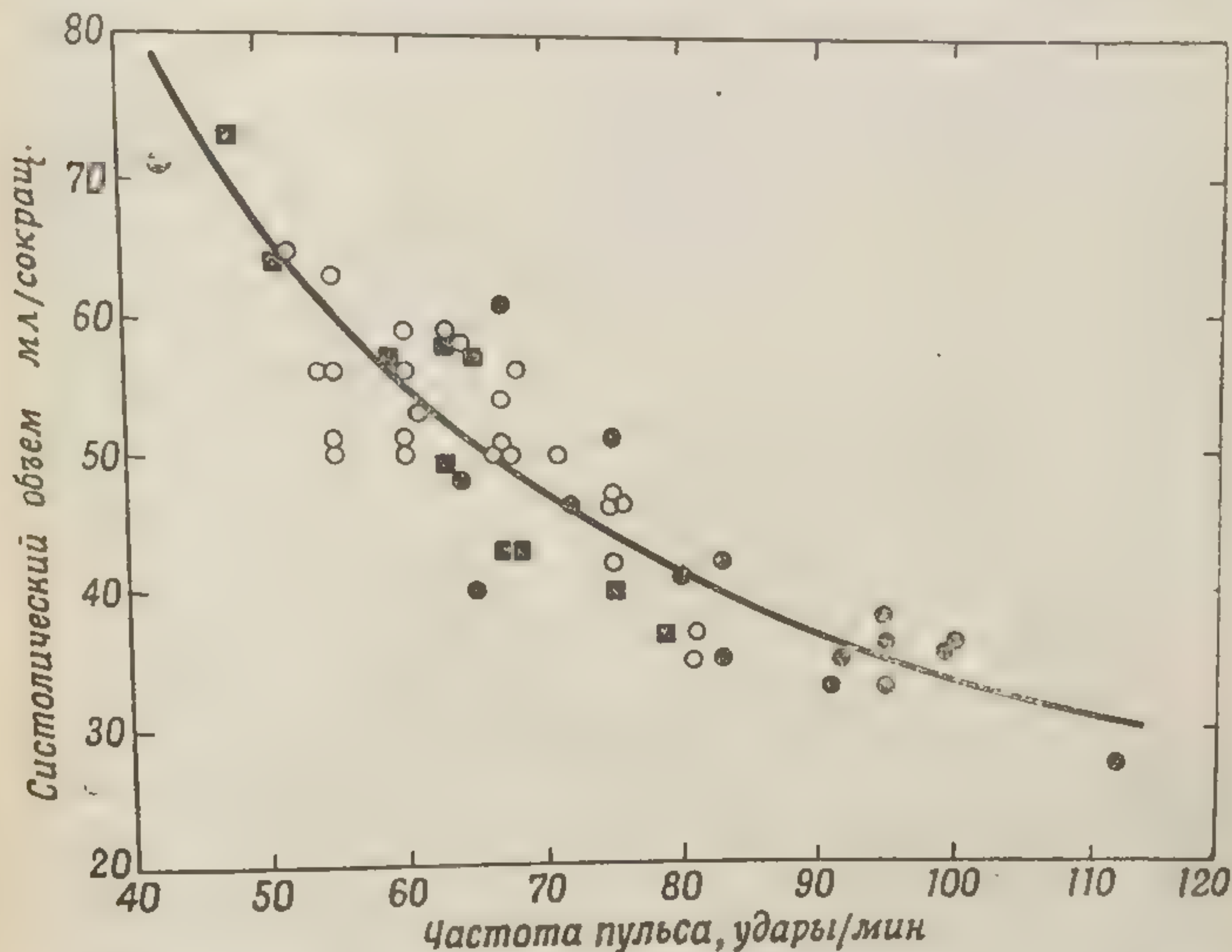
Исследования при помощи баллистокардиографа производились нами на 4 испытуемых до и после их пребывания в тепловой камере при нормальном водном балансе и в состоянии дегидратации (табл. 30). Первые измерения были проведены в помещении с температурой $21-26,6^\circ$, когда у испытуемых был нормальный водный баланс и они незадолго перед этим пили воду. Последние измерения проводились в той же самой комнате через 10—30 мин. после того, как испытуемый покидал тепловую камеру. Кривая фиг. 90, построенная в результате всех измерений, сделанных в этой серии экспериментов, показывает зависимость между систолическим объемом сердца и частотой пульса. Измерения, произведенные на испытуемых с нормальным водным балансом до и после их пребывания в тепловой камере, дали почти однозначные результаты. Под влия-



фиг. 90. Зависимость между систолическим объемом сердца и частотой пульса. Измерения, произведенные на испытуемых с нормальным водным балансом до и после их пребывания в тепловой камере, дали почти однозначные результаты. Под влия-

нием высокой температуры систолический объем сердца не изменяется. Однако измерения, проведенные на испытуемых, находящихся в состоянии дегидратации, показали, что после пребывания в тепловой камере при высокой температуре появляется явная тенденция к уменьшению систолического объема сердца и учащению пульса.

При статистической обработке полученного материала выяснилось, что если бы данные каждого из 28 испытаний представить



Фиг. 90. Зависимость между систолическим объемом и частотой пульса до и после помещения в тепловую камеру. Кривая представляет собой гиперболу, на уровне которой минутный объем сердца постоянен (систолический объем \times частоту пульса). ○ — до опыта; ■ — после опыта норма; ● — после опыта, обезвоживание.

как разность между утренним и вечерним систолическим объемом сердца, то между результатами экспериментов, в которых испытуемые находились в состоянии дегидратации или пили воду и подвергались только действию высокой температуры, почти нет никакого различия. Фактическая разница свидетельствует об уменьшении систолического объема на 19% при средней степени дегидратации (5,7% веса тела) (см. табл. 30). Следовательно, систолический объем обратно пропорционален частоте пульса, которая в этой же серии экспериментов возрастала на 34%. Уменьшение систолического объема нужно считать одним из факторов, нарушаю-

БАЛЛИСТОКАРДИОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗМЕ-

Испытуемый	Дата, март 1944 г.	Утренний систолический объем	Вечерний систолический объем, без дегидратации	Вечерний систолический объем, при дегидратации	Разница между утренним и вечерним систолическим объемом; % от утреннего систолического объема	Средний вечерний систолический объем
А	3	51	—	46	-10	54,7
	6	56	57	—	+2	
	9	56	73	—	+31	
	17	64	64	—	0	
	21	59	—	40	-32	
	24	58	54 ²⁾	48	-18	
	27	63	57	—	-10	
Б	3	42	—	36	-14	37,3
	6	38	—	35	-8	
	9	50	43	—	-13	
	17	37	—	36	-3	
	21	50	—	36	-28	
	24	46	—	35	-23	
	27	46	37	—	+20	
В	3	54	—	—	—	42,9
	6	50	—	42	-16	
	9	59	58	—	-1	
	17	47	—	33	-33	
	21	56	48 ²⁾	38	-31	
	27	50	40	—	+21	
Г	3	56	—	61	+8	43,3
	6	48	—	27	+44	
	9	53	49	—	-8	
	17	51	—	41	-20	
	21	44	43 ²⁾	33	-25	
	24	50	—	51	+2	
	27	50	43	—	-14	
Среднее для 4 испытуемых	—	55	50	40	—	44,5

¹⁾ Измерения производились утром и вечером, т. е. до и после помещения в тепловую

²⁾ Через 2 часа после приема воды для восстановления нормального

Таблица 30

РЕНИЕ СИСТОЛИЧЕСКОГО ОБЪЕМА¹⁾

Отношение вечернего систолического объема к среднему систолическому объему		Вечерний водный дефицит, % от веса тела	Утренний пульс	Вечерний пульс	Разница между утренним и вечерним пульсом, % от утреннего пульса	Ректальная температура, °С
без дегидратации	при дегидратации					
—	0,83	5,9	55	72	+30	38,5
1,05	—	0	54	59	+ 9	37,4
1,34	—	0	55	48	-14	36,8
1,16	—	0	51	51	0	37,6
—	0,73	5,5	60	65	+ 8	38,3
0,98 ²⁾	0,87	5,2	64	64	0	38,4
1,03	—	0	55	60	+ 9	38,0
—	0,98	5,8	75	100	+33	38,8
—	0,94	6,1	81	92	—	38,3
1,16	—	0	71	68	- 5	36,4
—	0,97	6,0	81	100	+24	38,3
—	0,96	5,5	67	95	+42	37,9
—	0,94	5,7	75	83	+11	38,7
1,00	—	0	75	79	+ 5	37,7
—	—	—	67	—	—	—
—	0,97	6,1	67	83	+25	38,2
1,35	—	0	63	63	0	37,0
—	0,76	5,4	75	95	+27	38,3
1,11 ²⁾	0,38	6,1	68	95	+40	39,5
0,93	—	0	67	75	+12	37,4
—	1,40	5,8	60	67	+11	38,2
—	0,62	5,8	62	112	+80	38,2
1,112	—	0	61	60	- 2	37,0
—	0,94	6,5	60	80	+33	37,8
1,00 ²⁾	0,75	6,0	60	91	+52	38,6
1,18	—	5,7	60	75	+25	38,5
1,00	—	0	55	67	+22	38,1
1,094	0,927	—	—	—	—	—

¹⁾ Измерения производились утром и вечером, т. е. до и после помещения в тепловую

²⁾ Через 2 часа после приема воды для восстановления нормального

БАЛЛИСТОКАРДИОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗМЕ

Испытуемый	Дата, март 1944 г.	Утренний систолический объем	Вечерний систолический объем, без дегидратации	Вечерний систолический объем, при дегидратации	Разница между утренним и вечерним систолическим объемом; % от утреннего систолического объема	Средний вечерний систолический объем
А	3	51	—	46	—10	54,7
	6	56	57	—	+ 2	
	9	56	73	—	+31	
	17	64	64	—	0	
	21	59	—	40	—32	
	24	58	54 ²⁾	48	—18	
	27	63	57	—	—10	
Б	3	42	—	36	—14	37,3
	6	38	—	35	— 8	
	9	50	43	—	—13	
	17	37	—	36	— 3	
	21	50	—	36	—28	
	24	46	—	35	—23	
	27	46	37	—	+20	
В	3	54	—	—	—	42,9
	6	50	—	42	—16	
	9	59	58	—	— 1	
	17	47	—	33	—33	
	21	56	48 ²⁾	38	—31	
	27	50	40	—	+21	
Г	3	56	—	61	+ 8	43,3
	6	48	—	27	+44	
	9	53	49	—	— 8	
	17	51	—	41	—20	
	21	44	43 ²⁾	33	—25	
	24	50	—	51	+ 2	
	27	50	43	—	—14	
Среднее для 4 испытуемых	—	55	50	40		44,5

1) Измерения производились утром и вечером, т. е. до и после помещения в тепловую камеру, а также в баланс.

2) Через 2 часа после приема воды для восстановления нормального водного баланса.

РЕНИЕ СИ

Отноше систолического к среднему

без дегидратации

—

1,05

1,34

1,16

—

0,98²⁾

1,03

—

—

1,16

—

—

—

1,00

—

—

1,35

—

1,11²⁾

0,93

—

—

1,112

—

1,00²⁾

1,18

1,00

1,094

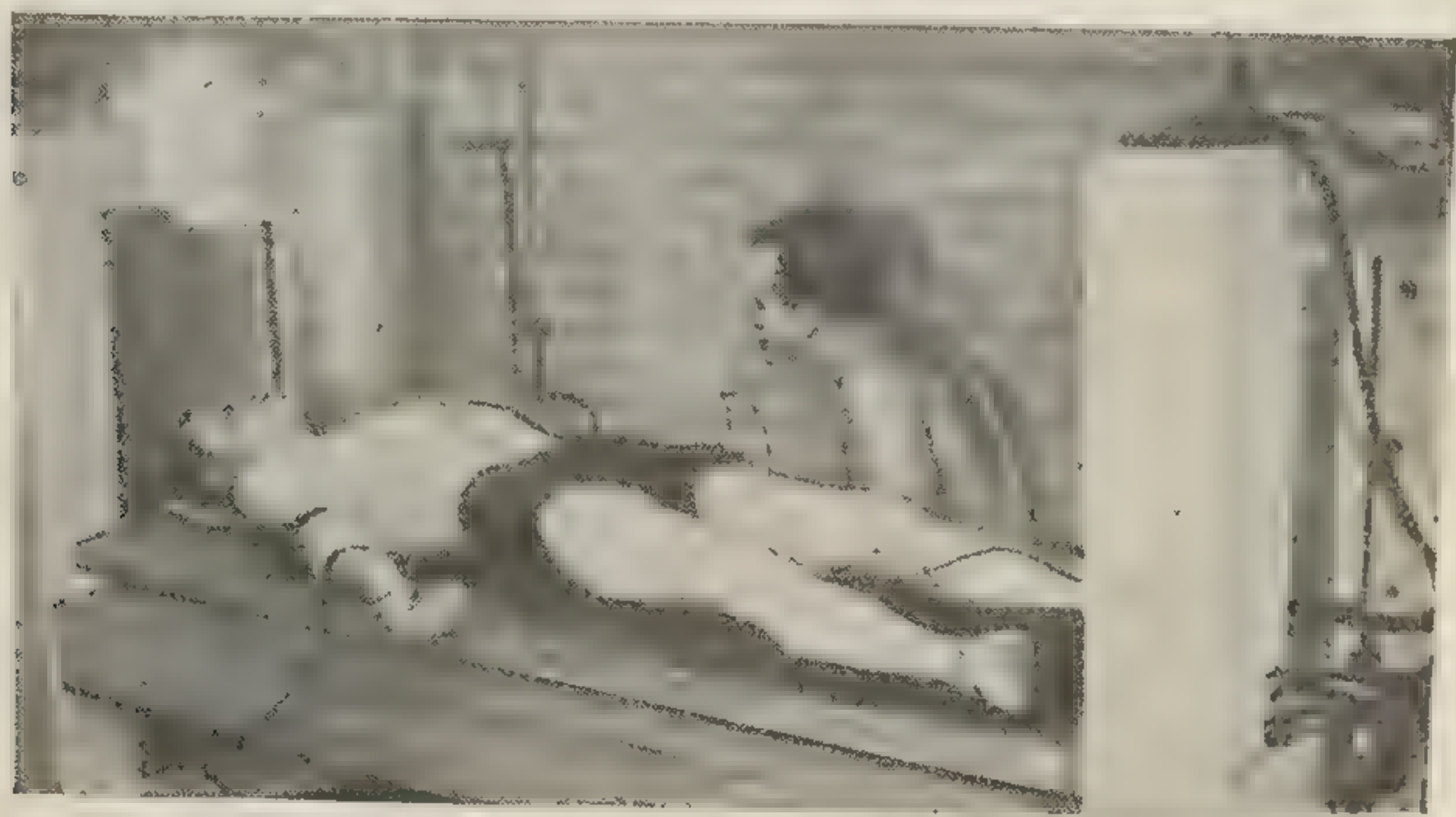
Таблица 30

РЕНИЕ СИСТОЛИЧЕСКОГО ОБЪЕМА¹⁾

Отношение вечернего систолического объема к среднему систолическому объему		Вечерний водный дефицит, % от веса тела	Утренний пульс	Вечерний пульс	Разница между утренним и вечерним пульсом, % от утреннего пульса	Ректальная температура, °С
без дегидратации	при дегидратации					
—	0,83	5,9	55	72	+30	38,5
1,05	—	0	54	59	+ 9	37,4
1,34	—	0	55	48	—14	36,8
1,16	—	0	51	51	0	37,6
—	0,73	5,5	60	65	+ 8	38,3
0,98 ²⁾	0,87	5,2	64	64	0	38,4
1,03	—	0	55	60	+ 9	38,0
—	0,98	5,8	75	100	+33	38,8
—	0,94	6,1	81	92	—	38,3
1,16	—	0	71	68	— 5	36,4
—	0,97	6,0	81	100	+24	38,3
—	0,96	5,5	67	95	+42	37,9
—	0,94	5,7	75	83	+11	38,7
1,00	—	0	75	79	+ 5	37,7
—	—	—	67	—	—	—
—	0,97	6,1	67	83	+25	38,2
1,35	—	0	63	63	0	37,0
—	0,76	5,4	75	95	+27	38,3
1,11 ²⁾	0,38	6,1	68	95	+40	39,5
0,93	—	0	67	75	+12	37,4
—	1,40	5,8	60	67	+11	38,2
—	0,62	5,8	62	112	+80	38,2
1,112	—	0	61	60	— 2	37,0
—	0,94	6,5	60	80	+33	37,8
1,00 ²⁾	0,75	6,0	60	91	+52	38,6
1,18	—	5,7	60	75	+25	38,5
1,00	—	0	55	67	+22	38,1
1,094	0,927	—	—	—	—	—

камеру, а также в состоянии дегидратации и без нее
баланса.

щих кровообращение при дегидратационном истощении. В количественном отношении оно почти идентично уменьшению объема плазмы. Не было обнаружено никаких существенных изменений в работе сердца под влиянием как одной высокой температуры, так и высокой температуры плюс дегидратация. При уменьшении систолического объема сердца пульс настолько учащается, что работа сердца остается почти без изменений (см. фиг. 90) и гиперболическая кривая, построенная на основании этих данных, проходит через точки одинакового минутного объема сердца.



Фиг. 91. Испытуемый на столе баллистокардиографа во время измерения венозного давления.

Это свидетельствует о том, что уменьшение систолического объема вызывает учащение сердцебиений, однако никакой причинной зависимости обнаружено не было. Наполнение сердца кровью может уменьшаться вследствие укорочения времени наполнения, т. е. укорочения диастолы, или вследствие понижения давления наполнения, т. е. понижения венозного давления. Если бы удалось установить зависимость между этими данными и систолическим объемом, частотой пульса, минутным объемом сердца и систолическим и диастолическим артериальными давлениями, то можно было бы установить зависимость изменений кровообращения у людей в состоянии дегидратации. Такой эксперимент и был предпринят.

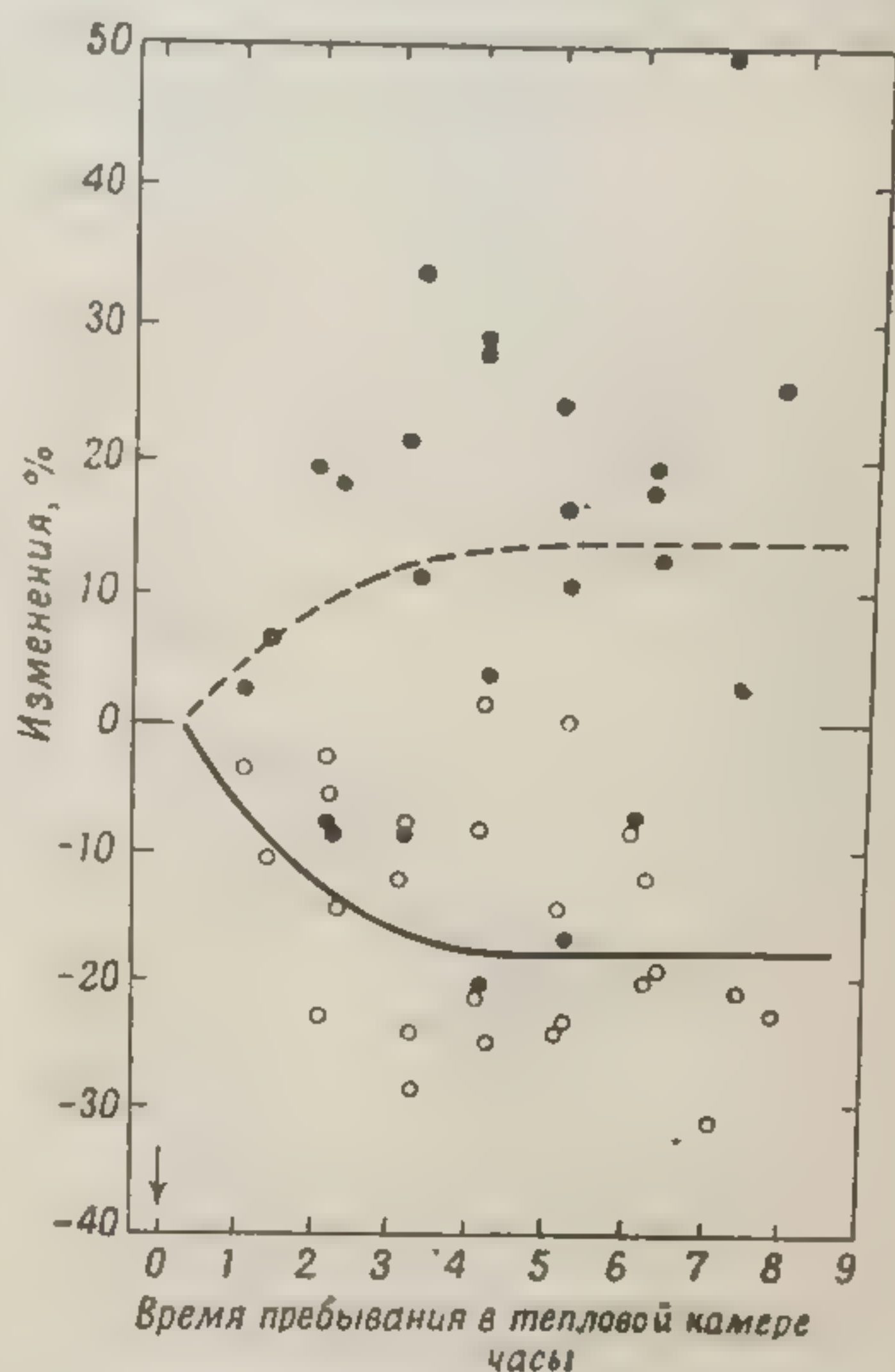
Второй баллистокардиограф был установлен в тепловой камере (фиг. 91). Венозное давление определялось пункцией в локтевую вену; игла соединялась с простым манометром, наполненным стерильным солевым раствором. Артериальное давление измерялось обычным клиническим методом. Испытуемые подвергались действию либо высокой температуры ($51,6^{\circ}$) и дегидратации, либо — только высокой температуры (в эти дни они каждый час пили воду).

для того, чтобы сохранить вес тела на исходном уровне). Венозное давление определялось в начале, середине и конце опыта, в то время как другие измерения производились приблизительно с часовыми интервалами. В этой серии экспериментов участвовало 4 испытуемых; всего было проведено 12 экспериментов с дегидратацией и 26 без дегидратации. Фиг. 92, 93 и 94 показывают изменения систолического объема. Измерение исходного систолического объема обычно производилось через 10 мин. после помещения испытуемого в тепловую камеру. Изменения в кровообращении, происходящие в течение этого 10-минутного периода, прослежены не были.

В этой серии экспериментов все определения производились в тепловой камере, и поэтому о влиянии дегидратации можно судить только при сравнении полученных данных с данными экспериментов, в которых испытуемые также находились в тепловой камере, но обладали нормальным водным балансом. На фиг. 92 представлены результаты четырех экспериментов, проведенных с целью выяснения действия высокой температуры на акклиматизировавшихся к жаре испытуемых. На графике показана корреляция между изменениями систолического объема и частоты пульса и продолжительностью действия высокой температуры. Минутный объем

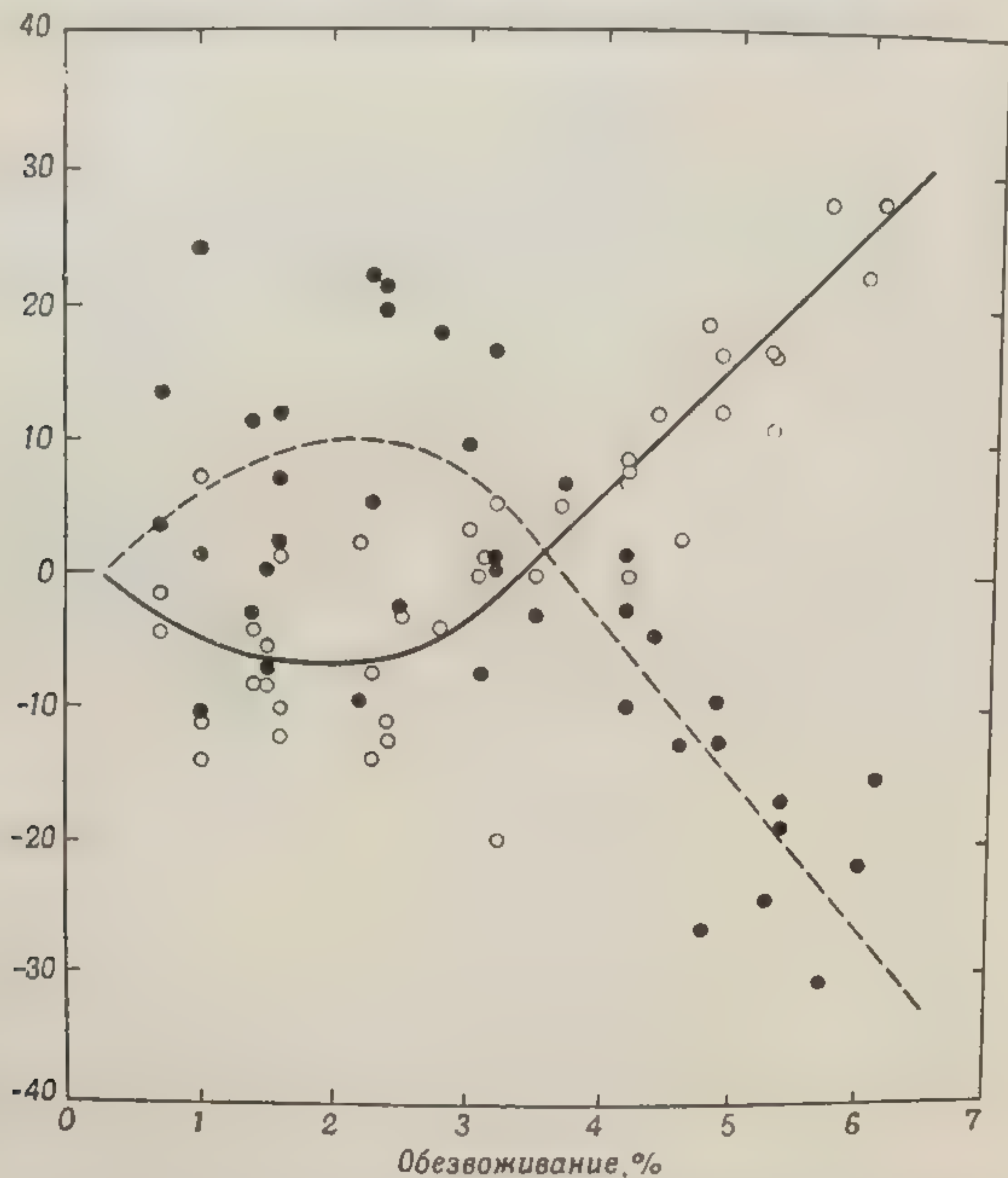
сердца оставался неизменным вследствие увеличения систолического объема, компенсирующего незначительное понижение частоты пульса. В конце экспериментов венозное давление в среднем было на 22% выше, чем в начале, однако результаты были столь не однозначны, что этой тенденции нельзя придавать значения. После 8-часового пребывания в тепловой камере средняя ректальная температура равнялась $37,3^{\circ}$, что нельзя считать ненормальным для этого времени дня (16 час.).

При введении испытуемого в тепловую камеру у него быстро и сильно расширяются периферические кровеносные сосуды и значительная часть циркулирующей крови устремляется по этому



Фиг. 92. Баллистокардиографическое измерение систолического объема сердца и соответствующая частота пульса у испытуемых Ф. и В. с нормальным водным балансом. Температура воздуха 51° . Сплошная линия (○) — частота пульса; пунктирная линия (●) — систолический объем.

новому пути, оказывающему ее тску относительно малое сопротивление. Такое изменение циркуляции крови может вызвать падение артериального давления, которое, в свою очередь, рефлекторным путем может привести к учащению сердцебиения. При нормальном венозном давлении систолический объем должен был остаться без изменений и поэтому минутный объем сердца, по всей



Фиг. 93. Баллистокардиографическое измерение систолического объема сердца и соответствующая частота пульса у испытуемых Ф. и В., находившихся в состоянии обезвоживания организма. Температура воздуха 51°. Сплошная линия (O) — частота пульса; пунктирная линия (●) — систолический объем.

вероятности, должен был увеличиться. Эта перестройка, очевидно, завершается за время выполнения первой баллистокардиограммы. Повидимому, организму выгоднее поддерживать определенный минутный объем при медленном пульсе и большем систолическом объеме, чем при более частом пульсе и меньшем систолическом объеме. Изменения, видимые на фиг. 92, очевидно, отражают мед-

ленное приспособление организма к увеличению минутного объема сердца, вызываемому высокой температурой. Такое изменение может быть важным фактором в процессе акклиматизации к жаре, ибо у неакклиматизировавшихся испытуемых пульс учащается и, вероятно, уменьшается систолический объем.

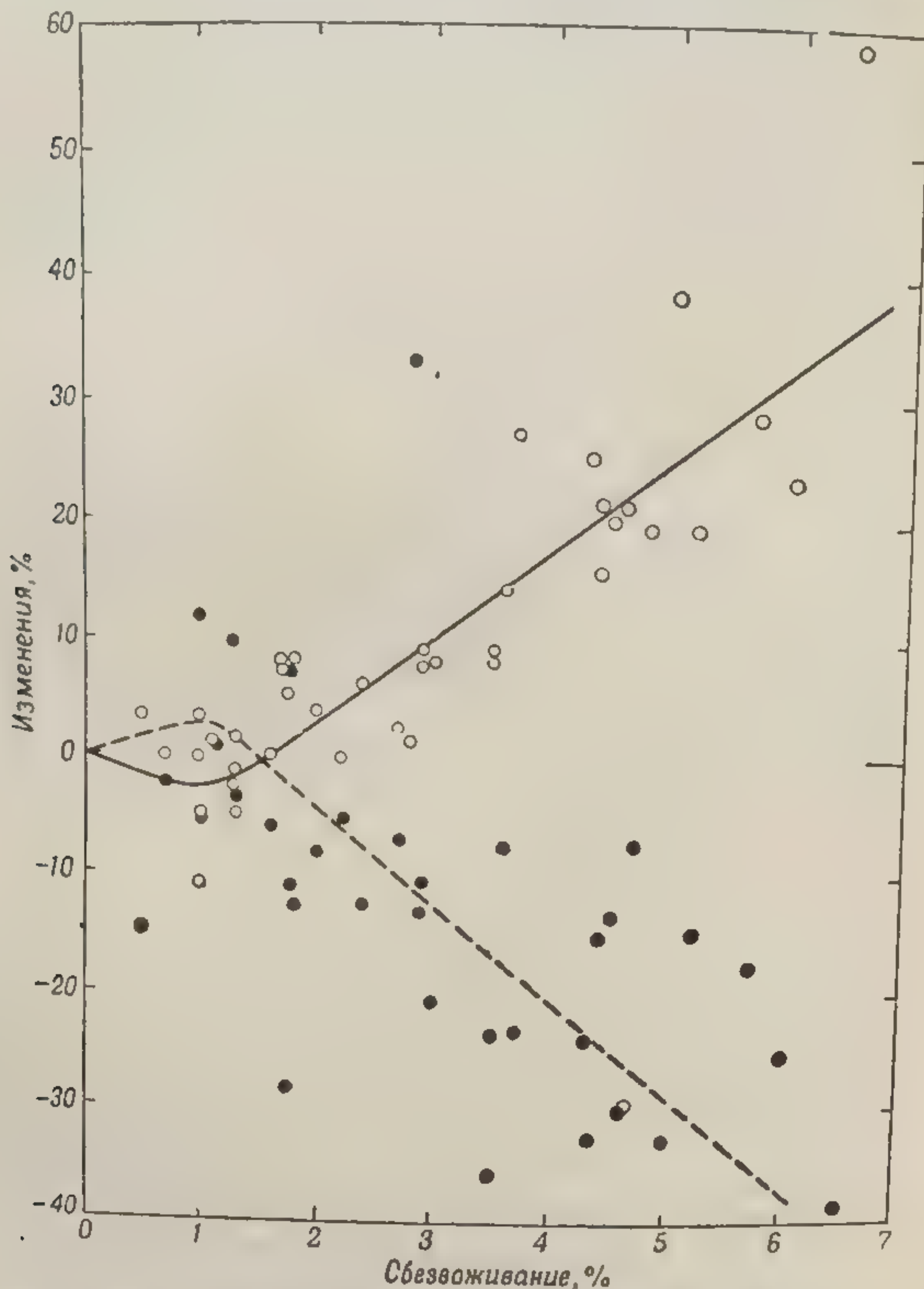
Теперь мы рассмотрим данные, полученные на испытуемых (Ф. и В.), находившихся под действием высокой температуры плюс дегидратация. Вначале частота пульса уменьшается и систолический объем увеличивается (фиг. 93), так же как и у испытуемых с нормальным водным балансом. Однако к тому моменту, когда дегидратация достигает 1,5%, эти изменения прекращаются и кривая примерно на уровне 10% изменений (по оси ординат) делается более пологой. Этот момент приблизительно соответствует 2-часовому пребыванию в тепловой камере, когда изменения в кровообращении у испытуемых с нормальным водным балансом лишь незначительно превышали 10%.

По мере нарастания дегидратации частота пульса возрастала, а систолический объем падал. При дегидратации в 3,5% кривые пересекают нулевую линию; при дегидратации в 6% частота пульса возросла на 30% исходной, а систолический объем понизился примерно на 30%. К концу дня среднее падение венозного давления составляло только 8%, но и в этом случае разноречивых результатов был столь значительным, что их нельзя считать достоверными. Ректальная температура повышалась в течение всего дня; перед самым выходом из тепловой камеры средняя ректальная температура достигала 38,5°.

Эксперименты по влиянию дегидратации на 2 других испытуемых (Д. и Х.) дали сходные результаты с той разницей, что кривые увеличения частоты пульса и падения систолического объема пересекают нулевую линию примерно на уровне 1,5-процентной дегидратации (фиг. 94). Данные, полученные на этих же 2 испытуемых во время их пребывания в тепловой камере, но с нормальным водным балансом, показывают, что частота пульса у них понизилась только на 5%, а для того, чтобы минутный объем сердца остался без изменения, систолический объем должен был увеличиться примерно на 5%. Единственное различие, обнаруженное у этих двух пар испытуемых, касалось абсолютной величины их венозного давления: у двух испытуемых с нормальным водным балансом (Ф. и В.) среднее венозное давление равнялось 9,7 см столба солевого раствора, а у 2 испытуемых, находившихся в состоянии дегидратации (Д. и Х.) — 4,2 см. Имеет ли эта зависимость какое-нибудь значение, мы сказать не можем.

При сопоставлении данных, полученных на испытуемом, находившемся в состоянии 6-процентной дегидратации, с данными, полученными на том же испытуемом, находившемся в течение того же времени в тепловой камере, но с нормальным водным балан-

сом, обнаружилось, что в первом случае у него произошли следующие изменения: ректальная температура повысилась на $1,2^{\circ}$; частота пульса возросла на 40%, а систолический объем уменьшился



Фиг. 94. Баллистокардиографическое измерение систолического объема сердца и соответствующая частота пульса у испытуемых Д. и Х., находившихся в состоянии обезвоживания организма. Температура воздуха 51° . Сплошная линия (O) — частота пульса; пунктирная линия (●) — систолический объем.

на 40% (помимо чувства беспокойства и других субъективных ощущений). Теперь остается только объяснить, почему совершаются эти изменения и каким образом они делают испытуемого не способным к выполнению работы.

Однако, когда температура тела повышается, то организм начинает испытывать недостаток в кислороде. Это происходит потому, что при высокой температуре скорость химических процессов в организме увеличивается. В результате этого организм требует больше кислорода, чем может получить из окружающей среды. Это приводит к тому, что организм начинает испытывать недостаток в кислороде, что приводит к тому, что организм начинает испытывать недостаток в кислороде.

Температура

Даже при высокой температуре тела организм продолжает функционировать. Однако, когда температура тела повышается, то организм начинает испытывать недостаток в кислороде. Это происходит потому, что при высокой температуре скорость химических процессов в организме увеличивается. В результате этого организм требует больше кислорода, чем может получить из окружающей среды. Это приводит к тому, что организм начинает испытывать недостаток в кислороде, что приводит к тому, что организм начинает испытывать недостаток в кислороде.

Отличительной чертой дегидратации является потеря кровью жидкости. Жара вызывает расширение периферических кровеносных сосудов, которое в неизвестной нам степени компенсируется сужением сосудов в других частях тела. На эту уже напряженную систему действует дополнительная нагрузка — уменьшение объема крови. Нет ничего удивительного в том, что это новое напряжение может превысить компенсаторные возможности в виде дополнительного сжатия кровеносных сосудов, при котором должно было бы понизиться давление. Как уже указывалось, при дегидратации венозное давление было лишь незначительно ниже, чем при нормальном водном балансе. Однако данные двух родов свидетельствуют о том, что венозное давление может быть более низким у людей, находящихся в состоянии дегидратации (даже в спокойном горизонтальном положении). Во-первых, состояние беспокойства, которое в других условиях бывает связано с плохим обратным током венозной крови к сердцу, и, во-вторых, тот факт, что двое испытуемых с более высоким венозным давлением (испытуемые Ф. и В.) оказались в состоянии сохранить систолический объем неизменным до гораздо более поздней стадии дегидратации, чем испытуемые Д. и Х. (до 3,5% вместо 1,5%). Хотя венозное давление и может играть роль в изменении динамики кровообращения при дегидратации, оно не является единственным фактором. По мере увеличения потери кровью воды количество кровяных клеток в единице объема крови возрастает, так же как и количество белков плазмы. Вместе с тем повышается и вязкость крови, и сердцу приходится тратить больше энергии на то, чтобы прогонять определенное количество крови.

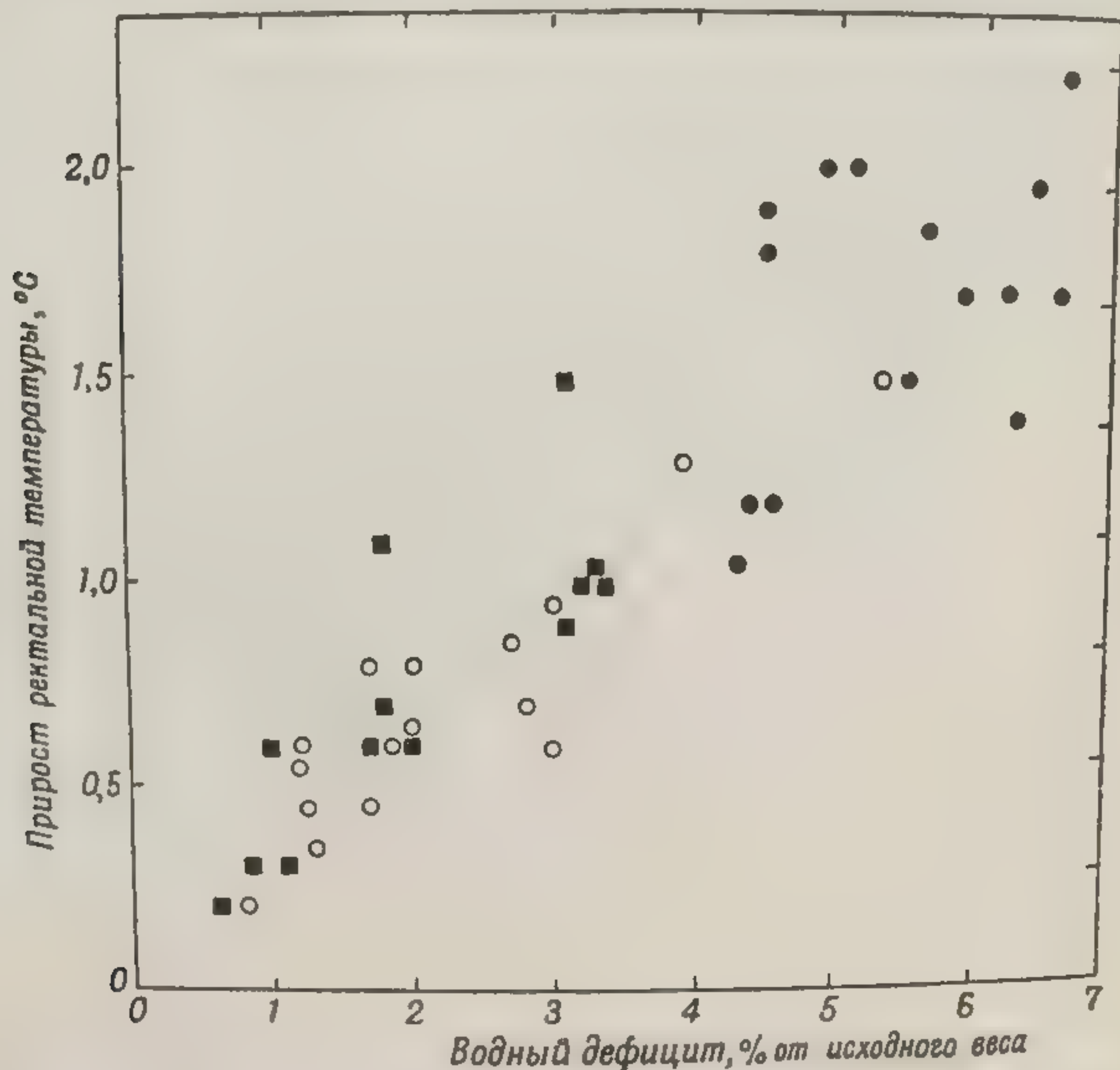
Температура тела в условиях пустыни

Даже при высокой температуре окружающей среды ректальная температура бывает выше температуры полости рта [8]. До тех пор, пока тепло, продуцируемое в процессе обмена веществ, отдается организмом, поверхность тела человека имеет более низкую температуру, чем внутренние органы. Поскольку перенос тепла от тканей, в которых оно продуцируется, к периферии является функцией кровообращения, повышение температуры тела указывает на недостаточность периферического кровообращения.

Во время дегидратации нормальное периферическое кровообращение сохраняется не всегда, отчасти вследствие уменьшения объема крови. Недостаточность периферического кровообращения приводит к удерживанию тепла в организме, а следовательно, к повышению температуры тела. Причиной такого удержания тепла, очевидно, не является нарушение способности к секреции пота, хотя оно и указывает на то, что при дегидратации потовые железы или

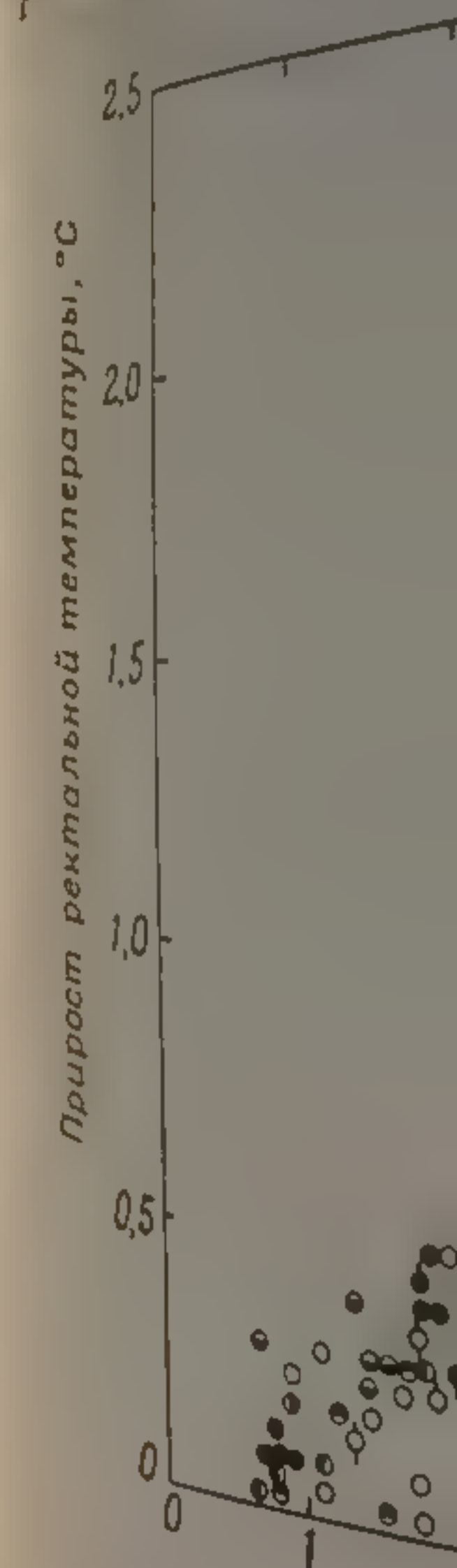
их рефлекторные регуляторы не реагируют на умеренное повышение температуры тела [9].

Материалы, собранные в пустыне, свидетельствуют о наличии линейной зависимости между обезвоживанием организма и сопутствующим ему повышением ректальной температуры (фиг. 95). Однако эта корреляция наблюдается только в тех случаях, когда



Фиг. 95. Прирост ректальной температуры при различном водном дефиците. Испытуемые в течение 3 дней проходили (без поклажи) по 16 — 22,5 км по пересеченной местности со скоростью 4,8 — 6,4 км/час. Температура воздуха 32 — 37°. ○ — с водой; ● ■ — без воды.

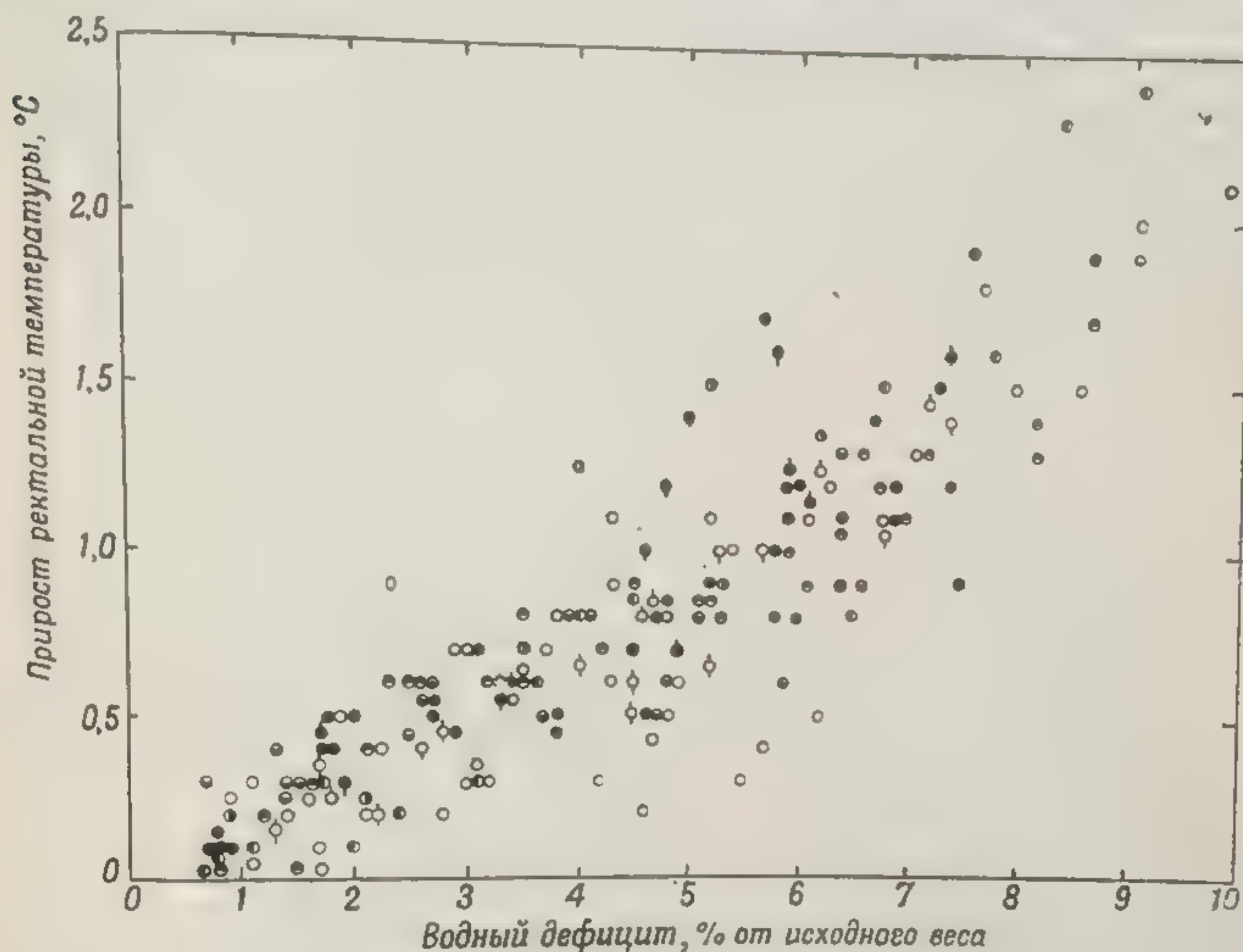
тепловая нагрузка и физиологическая активность остаются постоянными на протяжении всего эксперимента. Если на одном графике представить данные, полученные на большом количестве испытуемых, то обнаруживается, что при состоянии дегидратации наблюдается большая корреляция между приростом температуры и водным дефицитом, чем между абсолютной температурой и водным дефицитом. Корреляция оставалась незначительной, несмотря на то, что за первыми измерениями температуры следовал короткий период экспозиции, в течение которого у испытуемых устанавливалось определенное равновесие по отношению к окружающим условиям и



Фиг. 96. Прирост ректальной температуры в качестве исходного дефицита 0,5%

процент потери воды в процессе дегидратации, при дегидратации, совершенногося со скоростью 37, случаев дегидратации свидетельствуют о том, что в меньшем случае температуры не составляет около 14*

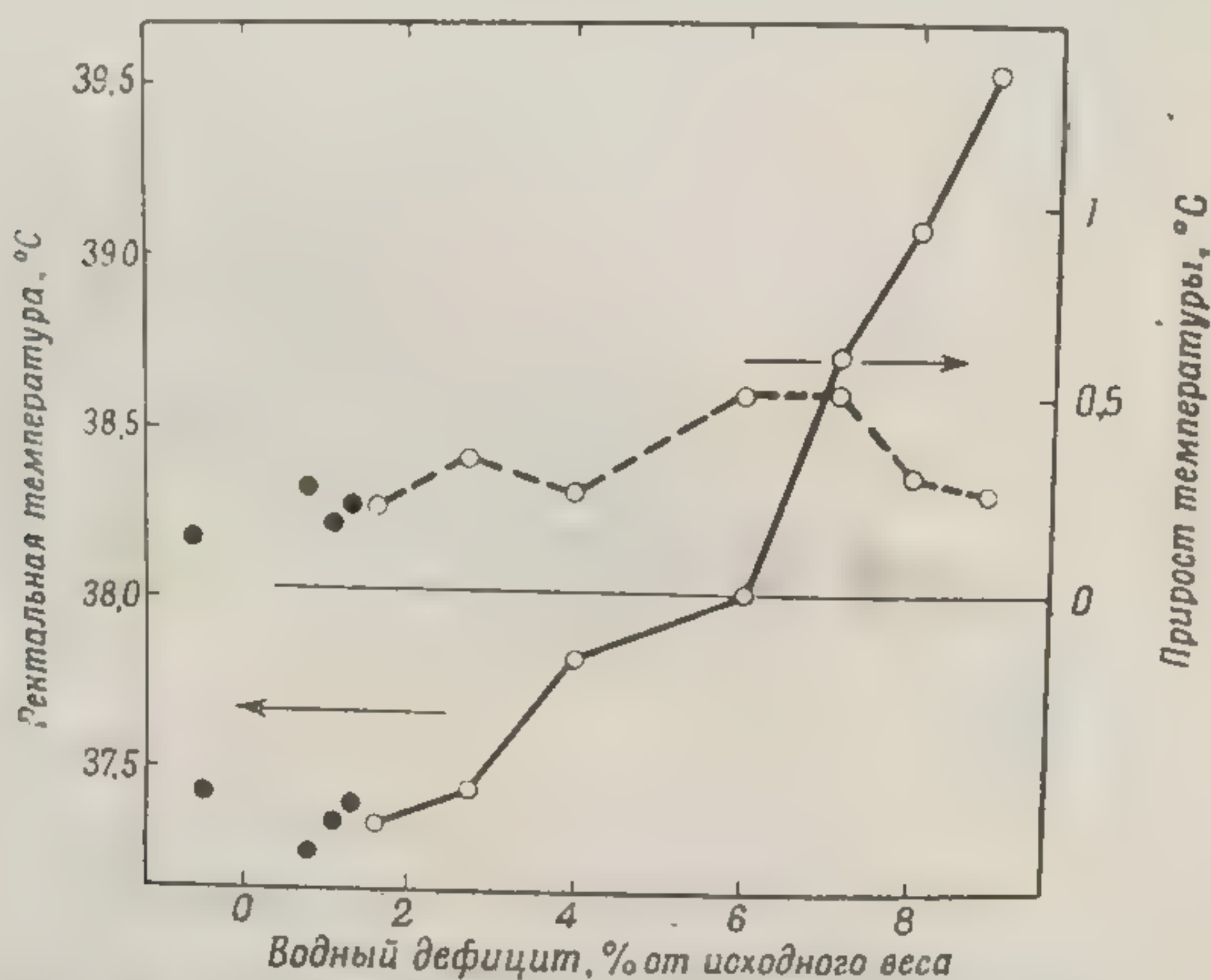
физической нагрузке. В этот короткий период равновесия происходит повышение ректальной температуры без заметной дегидратации. Поэтому основная температурная линия устанавливалась для каждого испытуемого и последующие температуры сопоставлялись с ней. Полевые данные, представленные на фиг. 95, показывают, что ректальная температура повышается примерно на $0,3^\circ$ на каждый



Фиг. 96. Прирост ректальной температуры при различном водном дефиците. В качестве исходной величины принимается ректальная температура при дегидратации $0,5\%$. Одинаковые значки соответствуют одному испытуемому.

процент потери веса тела, наступающей вследствие уменьшения содержания воды в организме. Это соотношение было обнаружено и при дегидратации, наступившей во время пешего похода в пустыне, совершавшегося со скоростью $4,8-6,4 \text{ км/час}$, при температуре воздуха примерно $37,7^\circ$. На фиг. 96 приведены данные, полученные в 27 случаях дегидратации в тепловой камере (11 испытуемых), которые свидетельствуют о наличии такой же зависимости. Наклон в данном случае меньше, чем на фиг. 95, и в среднем повышение ректальной температуры на каждый процент возрастания водного дефицита составляет около $0,2^\circ$. В лабораторных экспериментах физические упражнения были легче, чем в пустыне, и тепловая нагрузка не включала солнечной радиации. Во время лабораторных экспе-

приметов контрольные испытуемые выполняли такую же работу и находились под действием высокой температуры в течение того же времени, как и испытуемые, подвергавшиеся дегидратации, с тем отличием, что они пили воду и могли удерживать свой исходный вес в пределах $\pm 1\%$. После первых 30 мин. пребывания в тепловой камере у контрольных испытуемых не было обнаружено никаких прогрессирующих изменений ректальной температуры. В серии, состоящей из 12 экспериментов (каждый продолжительностью 12 час.), индивидуальные стандартные отклонения ректальной температуры колебались в пределах от $\pm 0,02$ до $\pm 0,16^\circ$, т. е. в среднем только на $\pm 0,9^\circ$.



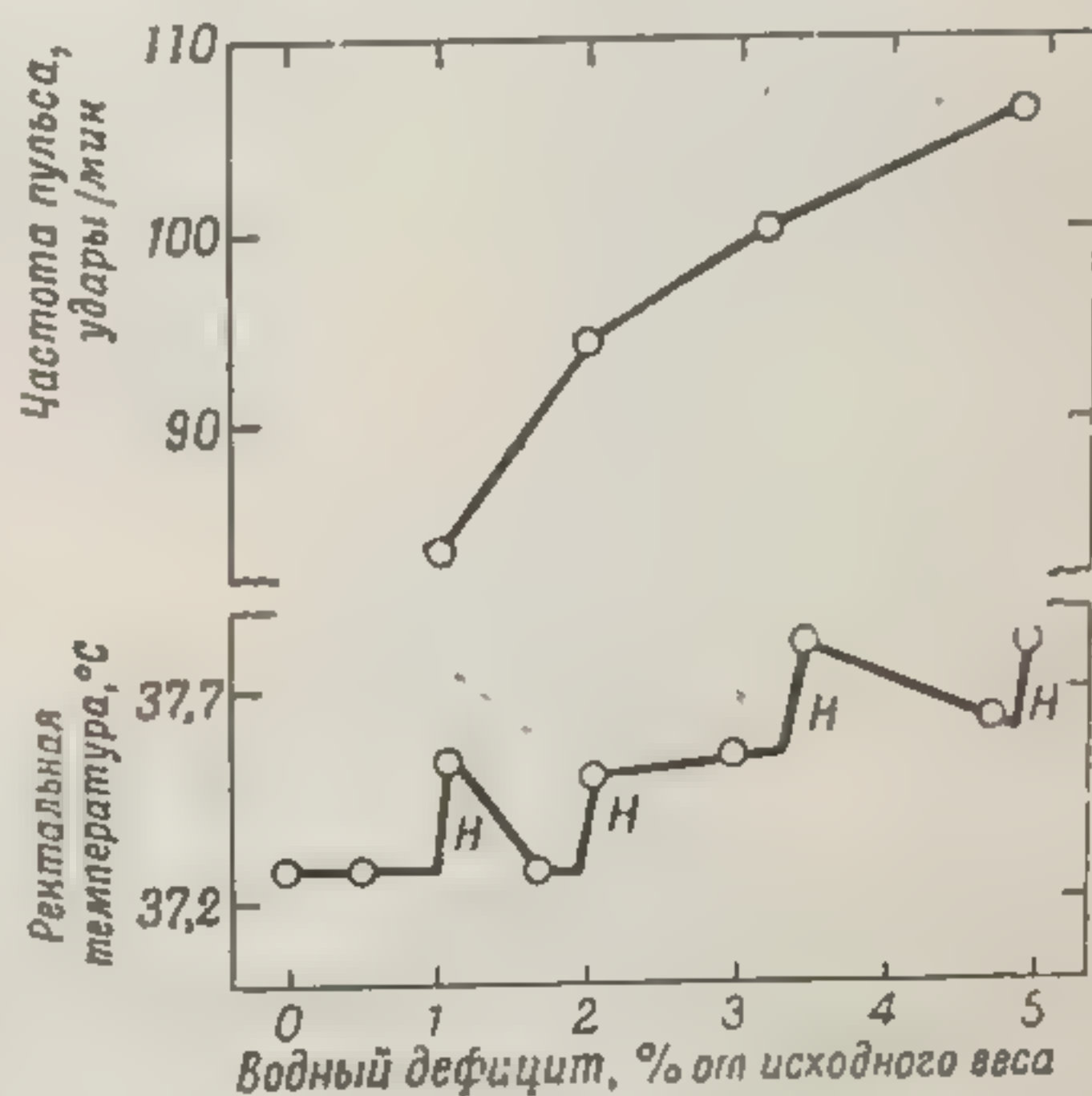
Фиг. 97. Зависимость между ректальной температурой и приростом температуры, вызванным работой и водным дефицитом. Сплошная линия — ректальная температура; пунктирная линия — прирост температуры. ● — с водой, ○ — без воды.

У людей, пользующихся водой в неограниченном количестве, во время походов в пустыне возникает умеренный водный дефицит. Ректальная температура повышается у них в такой же степени, как и у людей, не пивших воды и обладающих таким же водным дефицитом (см. фиг. 95). Поскольку у людей, получающих воду в неограниченном количестве, водный дефицит нарастает медленнее, чем у людей, совершенно лишенных воды, температура у них повышается также медленнее и они выполняют определенное задание без столь сильной гипертермии. Если люди заставляют себя выпивать количество воды, достаточное для сохране-

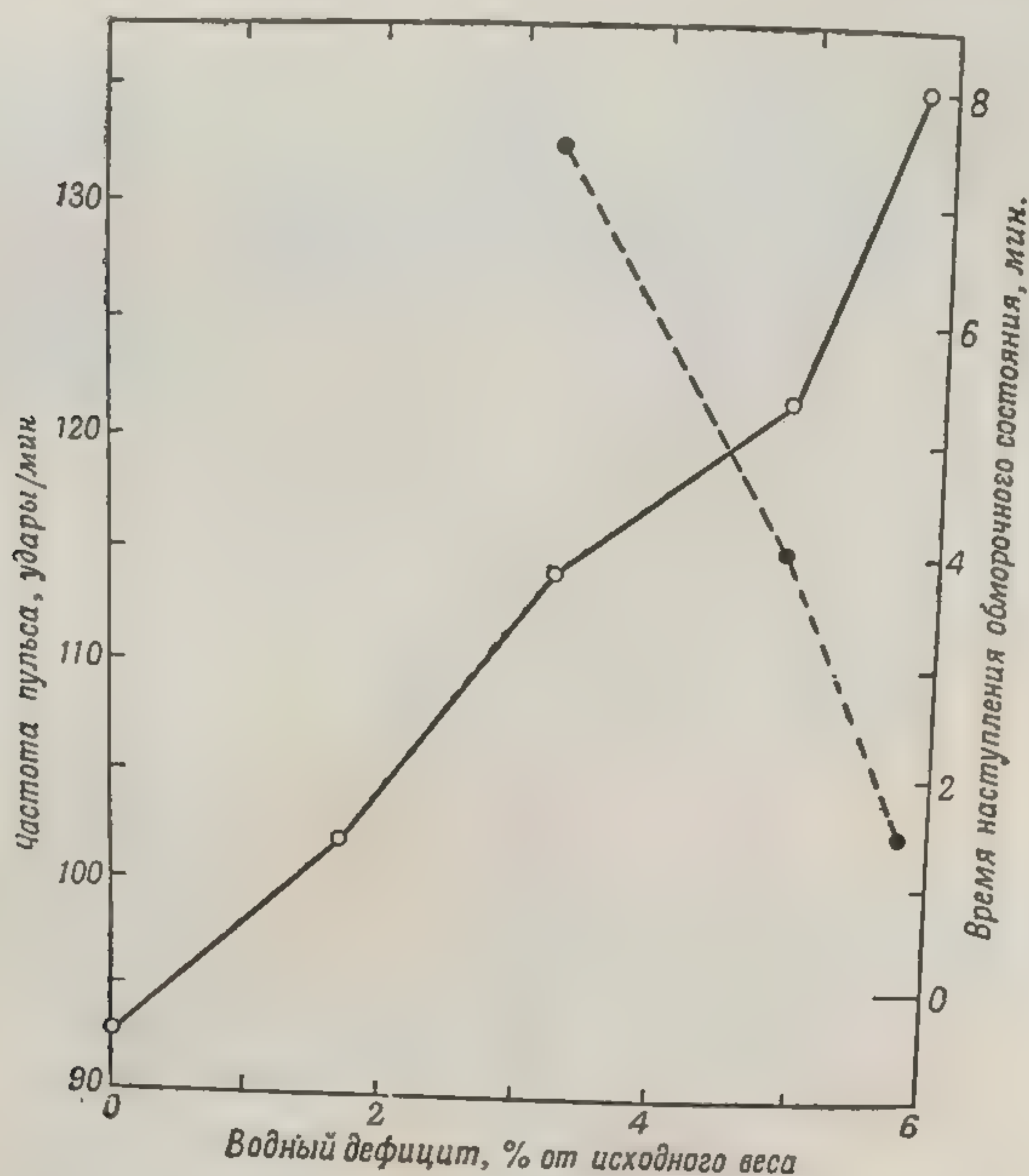
ния веса тела (т. е. для сохранения водного баланса), то у них развивается еще меньшая гипертермия, чем у людей, пьющих до насыщения.

Повышение температуры тела вызывается не только дегидратацией, но и другими «нагрузками». Ректальная температура повышалась во время 30-минутных упражнений; фиг. 97 иллюстрирует двойной эксперимент, проведенный на одном испытуемом, который в одном из этих экспериментов подвергался дегидратации, а в другом — пил воду. Ректальная температура измерялась до и после упражнений на эргометрическом велосипеде (190 кгм/мин) на протяжении 1,5—2 час. Между степенью дегидратации и приростом ректальной температуры во время работы не обнаружилось явной корреляции, однако температура тела перед каждым периодом работы была явно связана с дегидратацией.

На фиг. 98 показана частота пульса и ректальная температура испытуемого, находящегося в наклонном положении (под углом 45°) в состоянии дегидратации. Буквой *H* обозначены повышения ректальной температуры во время периодов наклона, продолжительность которых равнялась 10 мин. Эти повышения температуры могут частично отражать удержание тепла в организме, но, по всей вероятности, дополнительным фактором здесь является местное ослабление кровообращения в более низко расположенных внутренних органах — следствие положения тела [10]. Было обнаружено, что значение *H* не возрастает с увеличением водного дефицита. У испытуемых, чувствительных к положению тела и теряющих сознание при наклоне его (ногами вниз), дегидратация способствует наступлению обморочного состояния, как об этом свидетельствуют эксперименты, в которых испытуемый находился в наклонном положении ногами вниз в течение 10 мин. или до тех пор, пока он не терял сознания. По мере нарастания дегидратации, учащение пульса становилось значительнее и наступление обморочного состояния ускорялось (фиг. 99). Следовательно, наклон является удобным тестом для суждения о приближении нарушений кровообращения.



Фиг. 98. Зависимость между частотой пульса в наклонном положении, ректальной температурой и водным дефицитом. Частота пульса представляет собой среднюю из определений, произведенных после 1, 3, 7 и 9 мин. пребывания в наклонном положении (*H*)



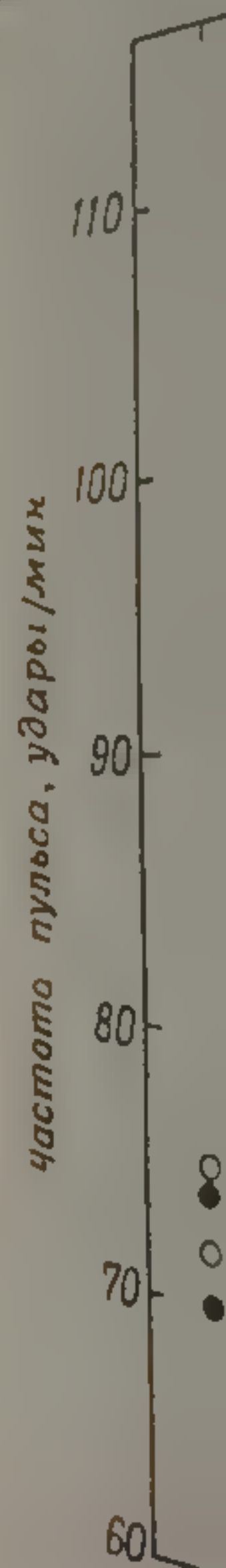
Фиг. 99. Зависимость между частотой пульса, водным дефицитом и временем наступления обморочного состояния у испытуемого, находившегося в наклонном положении. Сплошная линия — частота пульса; пунктирная линия — время наступления обморочного состояния.

Зависимость между частотой пульса и температурой тела

Совершенно очевидно, что дегидратация при высокой температуре сопровождается как учащением пульса, так и повышением ректальной температуры.

На фиг. 100 показана связь между этими двумя физиологическими переменными в течение нескольких экспериментов, в которых 2 испытуемых подвергались дегидратации в условиях высокой температуры и полного покоя в течение 10—12 час. (водный дефицит у испытуемых достигал 5—6%). На фиг. 101 показана та же зависимость в 4 экспериментах, проведенных в тепловой камере на 1 испытуемом во время выполнения легкой работы на эргометрическом велосипеде (190 ккал/мин). В 2 экспериментах испытуемый пил воду без ограничения, а в 2 других конечный вод-

КРОВОСНАЖЕНИЕ
ый дефицит у нас
после первых 15 м
тервал между кот
Эти графики я
рая вызывает уча
гальной температу
щение пульса и
истощения.

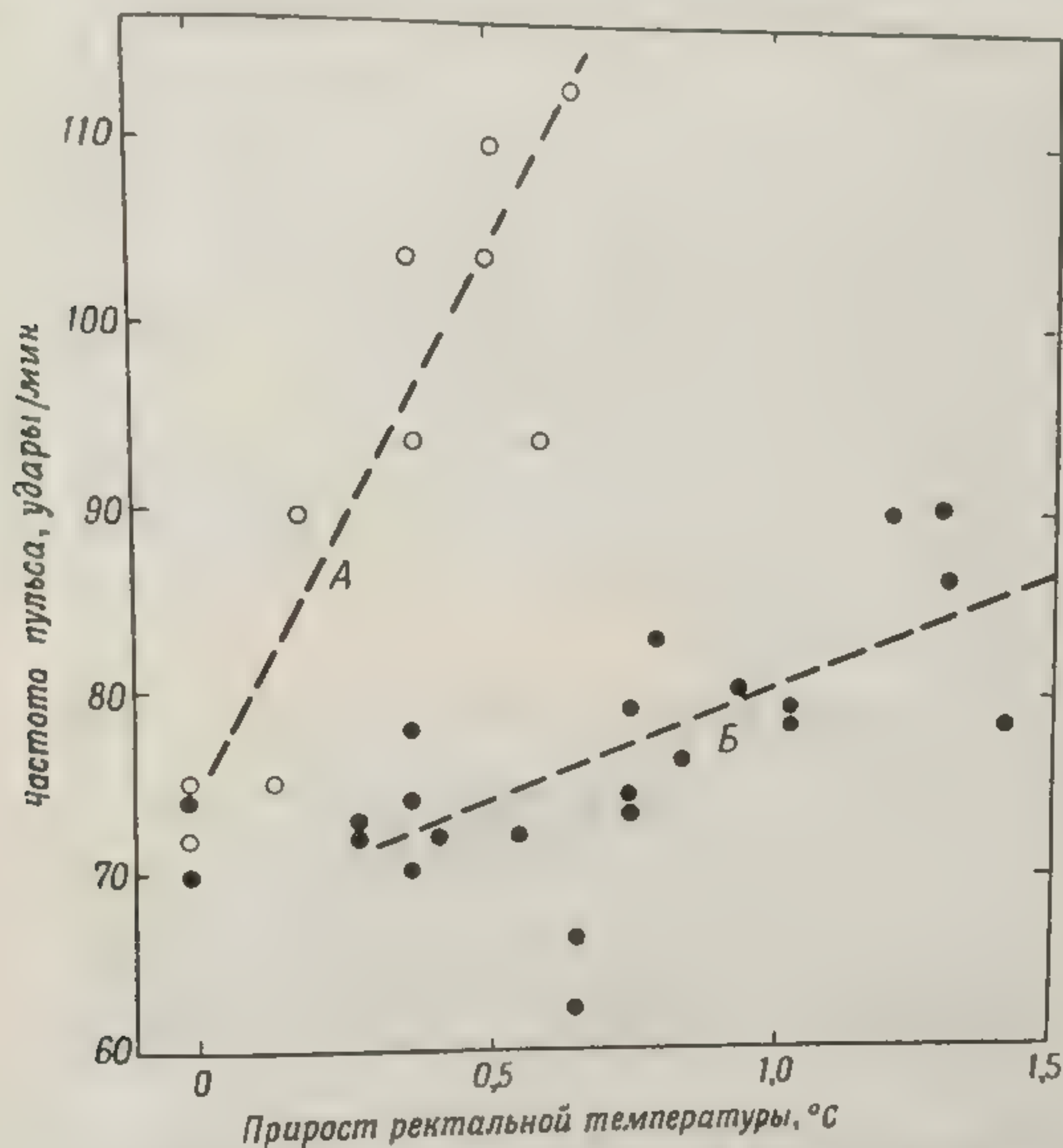


Фиг. 100.
ной темпе
шихся во
покоя

Как уже подче
в организме тепл
периферическое (к
идратации крове
вать эту перифер
ращения выражае
это неполная ком
шается.
Повышение ре
тате уменьшения

ный дефицит у него достигал 7—9%. Частота пульса измерялась после первых 15 мин. каждого получасового периода работы, интервал между которыми был не меньше 2 час.

Эти графики ясно показывают, что всякая дегидратация, которая вызывает учащение пульса, вызывает также и повышение ректальной температуры, независимо от того, велико или мало учащение пульса и насколько близок испытуемый к состоянию истощения.

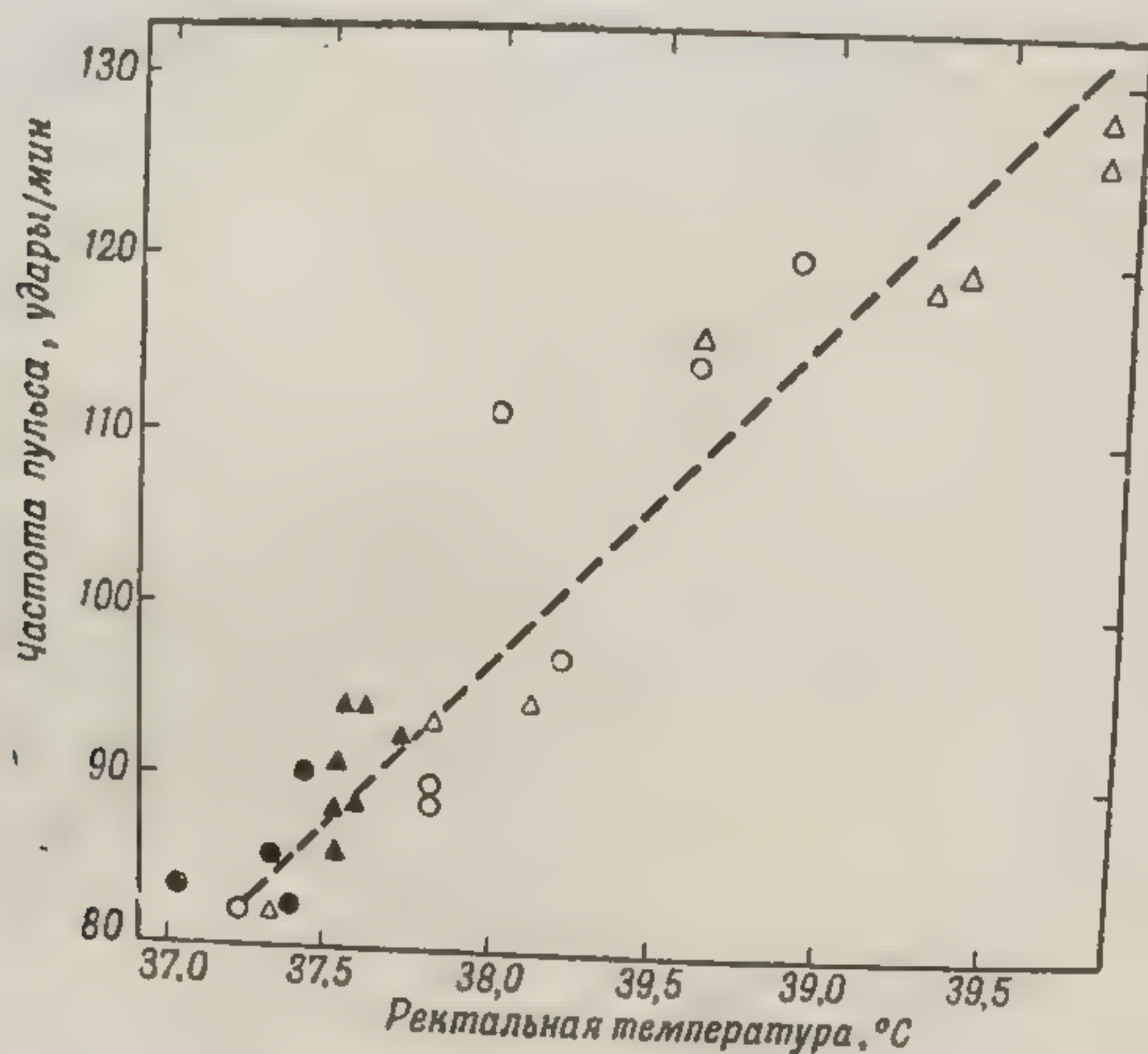


Фиг. 100. Зависимость между частотой пульса и ректальной температурой у двух испытуемых (А и Б), находившихся во время обезвоживания организма в состоянии покоя. А — 2 эксперимента; Б — 4 эксперимента.

Как уже подчеркивалось выше, для передачи продуцированного в организме тепла к поверхности тела необходимо непрерывное периферическое (кожное) кровообращение. По мере нарастания дегидратации кровеносной системе делается все труднее поддерживать эту периферическую циркуляцию. Затрудненность кровообращения выражается в компенсаторном учащении пульса. Однако это неполная компенсация, ибо температура тела также повышается.

Повышение ректальной температуры может произойти в результате уменьшения циркуляции крови от глубоко расположенных

тканей к поверхности тела. Однако независимо от того, является оно следствием уменьшения циркуляции крови или нет, повышение температуры более чем на 1° вызывает учащение пульса на 20 ударов/мин., так как старые клинические наблюдения указывают, что в лихорадочном состоянии повышение температуры на каждые $0,5^\circ$ сопровождается учащением пульса на 10 ударов/мин. Это не является исключительно результатом усиления метаболизма,



Фиг. 101. Зависимость между частотой пульса и ректальной температурой у испытуемого, выполнявшего работу во время обезвоживания организма (9% исходного веса тела). \blacktriangle \bullet — с водой; \triangle \circ — без воды.

о чем свидетельствуют хорошо известные эксперименты (проведенные на сердце собак и кроликов), в которых все условия были строго постоянными и изменялась лишь температура крови. В этих случаях повышение температуры также вызывало учащение сокращений сердца. Учащение пульса может привести к нарушению работы сердца, ибо укороченная систола означает, что сердце выполняет дополнительную работу, необходимую для ускорения движения более вязкой крови и что сердечная мышца отдыхает более короткое время. При этом возникает порочный круг, в котором уменьшенный объем крови, расширившаяся сеть сосудов, большая вязкость крови и повышенная температура — все эти факторы комбинируются друг с другом, делая кровообращение менее эффективным, что, в свою очередь, приводит к дальнейшему повышению температуры и т. д.

Кроме того, не исключена возможность того, что пониженное

содержание воды в организме и сердечной системе и сердечной деятельности.

Аккумуляция энергии в компенсаторной системе относительно слабая, поэтому учащение пульса в повышении температуры.

О распределении температуры и учащения пульса в повышении температуры и учащения пульса в повышении температуры.

В настоящее время, что для низкой температуры.

Практические

Согласно практическому опыту, объем и частота пульса являются важными факторами, работа, по

Данные, полученные в отдельных случаях, показывают, что и

же в отдельных случаях, проведенных в ректальной температуре, что и

возможным, хотя с резервов человека, которые могут

работы, большая часть выполняется людьми, выполняющими эти по

отклонения, которые, то эти критические состояния кровотока, лимитиру

содержание воды в различных тканях, включая также нервную систему и сердце, может препятствовать их нормальному функционированию.

Аккумуляция тепла в организме начинается не только при истощении компенсаторного резерва кровообращения, но уже при относительно слабой дегидратации. Таким образом, нагрузка, создаваемая обезвоживанием, складывается из напряжения сердца (выражающегося в учащении пульса) и накопления тепла (выражающегося в повышении ректальной температуры).

О распределении нагрузки свидетельствует наклон прямой, показывающей зависимость между повышением ректальной температуры и учащением пульса. В каждом случае, когда определялись оба эти фактора, наклон, характеризующий индивидуальные особенности, оставался, в основном, неизменным и в последующих дегидратациях (см. фиг. 100). Поскольку эта зависимость носит линейный характер, коэффициент распределения не является функцией степени дегидратации, по крайней мере до потери 6% веса.

В настоящее время не имеется никаких данных, говорящих о том, что для поддержания работоспособности нужно сохранять низкую температуру тела за счет учащения пульса или наоборот.

Практическое применение описанных данных

Согласно приведенным нами данным, частота пульса, систолический объем и ректальная температура у человека в условиях пустыни являются критериями таких нагрузок на организм, как жара, работа, положение тела и дегидратация.

Данные, представленные на фиг. 89, 95 и 96, показывают колебания отдельных показателей у разных испытуемых и у одного и того же испытуемого. Совершенно очевидно, что даже в этих экспериментах, проведенных в строго регулируемых условиях, частота пульса и ректальная температура обнаруживают столь значительные колебания, что использование их в качестве критерия делает невозможным хоть сколько-нибудь точное определение физиологических резервов человека. Однако указывается, что из всех признаков, которые могут сигнализировать о приближении дегидратационного истощения и последующей неспособности человека к продолжению работы, большая частота пульса и высокая ректальная температура являются наиболее надежными, особенно в тех случаях, когда люди выполняют одинаковую работу. Можно считать, что надежность этих показателей физиологического состояния человека увеличивается, когда ими пользуются наряду с другими показателями отклонения от нормы. Даже если люди выполняют различную работу, то эти критерии являются хорошими показателями общего состояния кровообращения, представляющего собой один из факторов, лимитирующих работоспособность человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Burton A. C., Bazett H. C., *Am. J. Physiol.*, 117, 36 (1936).
2. Winslow C. E. A., Herrington L. P., Gagge A. P., *Am. J. Physiol.*, 120, 1 (1937).
3. Adolph E. F., *Am. J. Physiol.*, 123, 487 (1938).
4. Winslow C. E. A., Herrington L. P., Gagge A. P., *Am. J. Physiol.*, 120, 1 (1937).
5. Turner A. H., Newton M. I., Haynes F. W., *Am. J. Physiol.*, 94, 507 (1930).
6. Mayerson H. S., *Am. J. Physiol.*, 133, P380 (1941); 138, 630 (1943).
7. Starr I., Rawson A. J., Schroeder H. A., Joseph N. R., *Am. J. Physiol.*, 127, 1 (1939).
8. Adolph E. F., Fulton W. B., *Am. J. Physiol.*, 67, 573 (1924).
9. Dontas S., *Arch. f. d. ges. Physiol.*, 241, 612 (1939).
10. Asmussen E., Christensen E. H., Nielsen M., *Skandinav Arch. f. Physiol.*, 81, 214 (1939).

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ В
РАБОТЫ И О
НА

В предыдущей главе
в лабораторных условиях ч
рздают от обезвоживани
ического состояния яв
состояния кровеносн
дегидратацией. Было о
духа, мышечная работа
оказывают одинаковое
температуру. Все эти
длвека в пустыне, у
ной системы.
Используя частоту п
тия, мы попытае
разные виды нагруз
деленная количеств
мышечные пульса? Зави
от дегидратацией, от
или действие разл
Ответ на эти вопро
на компоненты,
работой и дег
Частота пульса был
состояния кров
своих измерений
более у
общей и ректально
нагрузки
напряже
использовать
в тех случаях, когда
пульса и температуры
частоту пульса надеж
кровеносной системы,
ним методом и что с

Глава XII

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, РАБОТЫ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОРГАНИЗМА НА КРОВООБРАЩЕНИЕ

В предыдущей главе мы отмечали, что как в полевых, так и в лабораторных условиях частота пульса и ректальная температура зависят от обезвоживания организма и что эти показатели физиологического состояния являются удобными критериями напряженного состояния кровеносной системы, обусловленного нагрузкой — дегидратацией. Было обнаружено, что высокая температура воздуха, мышечная работа и пассивные изменения положения тела оказывают одинаковое действие на частоту пульса и ректальную температуру. Все эти нагрузки, накладывающиеся на организм человека в пустыне, усиливают напряженное состояние его кровеносной системы.

Используя частоту пульса в качестве показателя напряженного состояния, мы попытаемся выяснить, в какой мере эквивалентны различные виды нагрузок, или, другими словами, вызывает ли определенная количественная дозировка разных нагрузок одинаковое учащение пульса? Зависит ли нагрузка на организм, обуславливаемая дегидратацией, от других выдерживаемых организмом нагрузок, или действие различных нагрузок строго дополняет друг друга? Ответ на эти вопросы должно дать разделение общего напряжения на компоненты, обуславливаемые главными нагрузками: жарой, работой и дегидратацией.

Частота пульса была выбрана в качестве показателя напряженного состояния кровеносной системы потому, что из многих косвенных измерений нагрузки на систему кровообращения она является наиболее удобным. Мы установили, что повышение оральной и ректальной температур, происходящее по мере увеличения общей нагрузки, в значительной степени зависит от степени возрастания напряженного состояния. Однако изменения температуры совершаются очень медленно, и поэтому температуру тела трудно использовать в качестве мерила напряженного состояния в тех случаях, когда желательно сменить несколько нагрузок для того, чтобы определить их совместное действие. Напротив, частота пульса изменяется быстро и легко воспроизводима. Мы считаем частоту пульса надежным показателем напряженного состояния кровеносной системы, при условии, что она определяется стандартным методом и что организм уже находится в состоянии напряже-

ния. Именно несоблюдение этого последнего условия привело других исследователей [1] к заключению, что нагрузки на кровеносную систему обычно не суммируются.

Можно предположить, что в системе кровообращения одни компенсаторные механизмы действуют быстрее или эффективнее других. Когда нагрузки малы, неоднозначность ответных реакций (например, учащения пульса) показывает пути осуществления этих различных способов приспособления. На изменяющиеся компоненты нагрузок компенсаторные механизмы реагируют иначе, на что указывает факт различного учащения пульса в тех случаях, когда легкая нагрузка оказывает свое действие разными путями. Однако когда общая нагрузка возрастает, возможности компенсаторных механизмов уменьшаются; исчерпываются возможности приспособления сосудистой системы; большая часть регуляторных явлений сводится к учащению пульса, которое с этого времени обнаруживает линейную связь с дальнейшим увеличением нагрузки. Поэтому частота пульса может служить мерилем напряжения кровеносной системы, вызванного работой и действием высокой температуры и дегидратации.

При проведении данного исследования мы пользовались следующими методами: 4 испытуемых в тепловой камере по очереди работали на эргометрическом велосипеде, причем интенсивность работы соответствовала индивидуальным физическим возможностям испытуемых. Каждый испытуемый выполнял попеременно более трудное и более легкое задание. Эксперименты производились при трех температурах воздуха, различавшихся в пределах примерно 20°. Испытуемые совершенно не получали воды, и водный дефицит у них возрастал со скоростью примерно 1% веса тела в 1 час. Таким образом, на организм испытуемого одновременно действовали три основные нагрузки.

После того как испытуемые адаптировались к предварительным повторным действиям высокой температуры, дегидратации и работы, мы начали одновременно изменять все три нагрузки и таким путем определяли учащение «рабочего» пульса в зависимости от увеличения данной конкретной нагрузки. Путем анализа полученных данных о частоте пульса мы установили границы, в пределах которых различные нагрузки на кровеносную систему суммируются, и определили эквивалентность различных нагрузок.

На фиг. 102 показана частота пульса во время 3 сеансов работы, по 10 мин. каждый (результаты 245 испытаний). Приведенные кривые свидетельствуют о том, что сначала пульс быстро учащается (в течение нескольких минут), затем в продолжении некоторого времени сохраняется приблизительно в устойчивом состоянии и, наконец, после прекращения работы быстро замедляется. В фазе учащения пульса различия в рабочей нагрузке, температуре воздуха или содержании воды в организме не имели существенного

Влияние температуры на частоту пульса. На графике показаны кривые, характеризующие частоту пульса в зависимости от температуры воздуха. В течение работы частота пульса не зависела от температуры воздуха. Однако после прекращения работы частота пульса быстро замедляется. Скорость восстановления частоты пульса после прекращения работы зависит от температуры воздуха. Об этом свидетельствуют кривые, полученные после прекращения работы при различных температурах воздуха. В фазе восстановления частоты пульса частота пульса во время работы была меньше, чем после прекращения работы, причем оно не зависело от температуры воздуха, воды в организме.

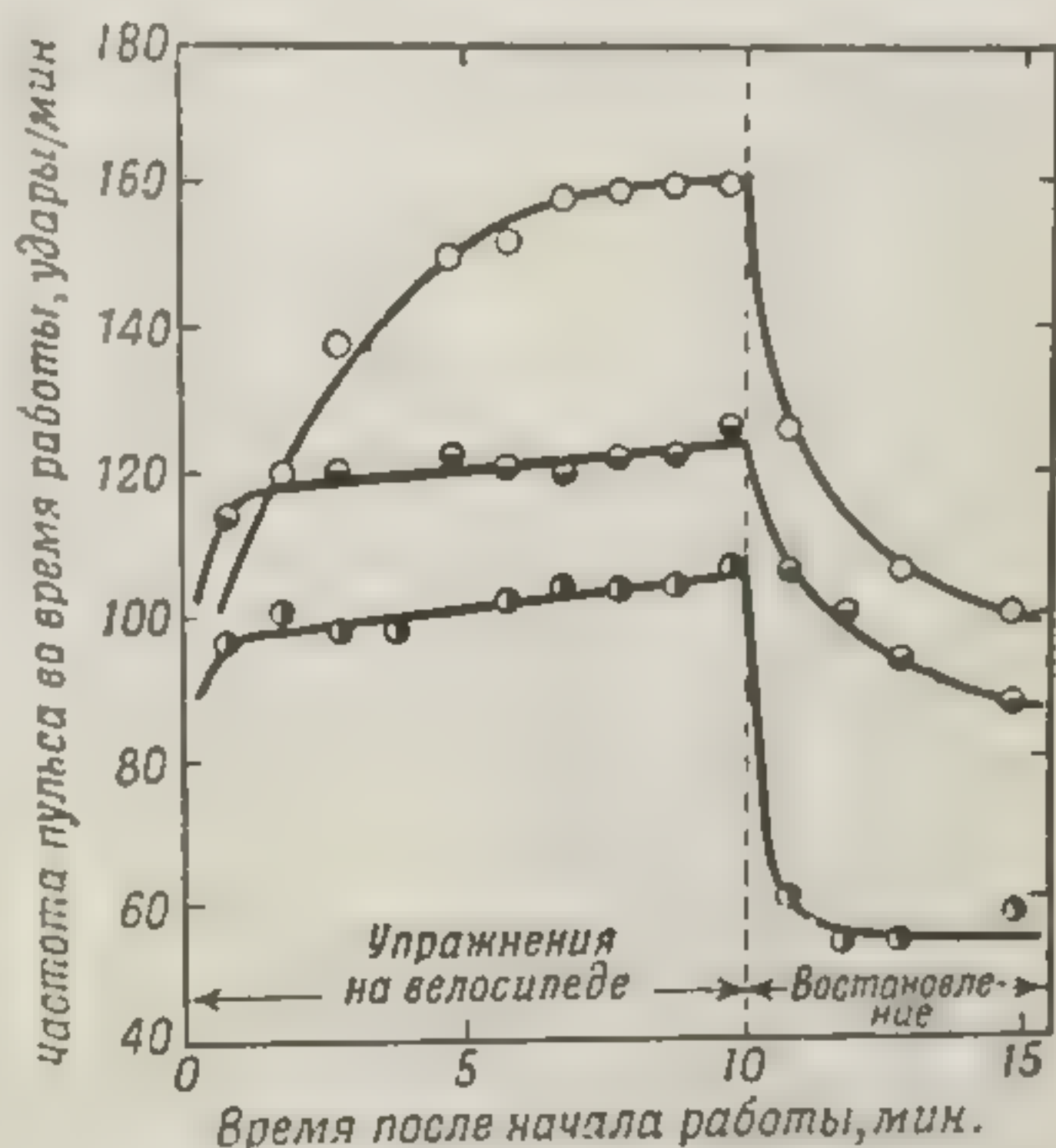
В течение последующих минут работы, организм испытуемого адаптировался в почти устойчивое состояние, и частота пульса была меньше, чем больше была нагрузка. Определено, что частота пульса в каждой нагрузке зависит от того, насколько организм адаптировался к нагрузке или в какой мере. Это отношение описано следующим образом: частота пульса в начале работы была «рабочей» частотой пульса. Частота пульса в фазе восстановления работоспособности зависела от температуры воздуха. Такая зависимость частоты пульса от температуры воздуха была обнаружена при произведении различных температурных воздействий на организм. Методика и данные приводятся ниже.

Регулировка температуры тела. Регулировка температуры тела достигается различными способами. Одним из основных способов является изменение теплообмена с окружающей средой. Регулировка температуры тела достигается также изменением теплопродукции и теплоотдачи. Регулировка температуры тела достигается также изменением теплоемкости тела. Регулировка температуры тела достигается также изменением теплопроводности тела. Регулировка температуры тела достигается также изменением теплоизоляции тела. Регулировка температуры тела достигается также изменением теплоемкости тела. Регулировка температуры тела достигается также изменением теплопроводности тела. Регулировка температуры тела достигается также изменением теплоизоляции тела.

значения. На возрастание частоты пульса и легкость, с которой сохранялось устойчивое состояние, несколько влияла только тяжесть работы. В фазе восстановления форма спадающей кривой также не зависела от характера или степени нагрузки. После прекращения работы частота пульса быстро снижалась и достигала исходного уровня асимптотически в течение 2—4 мин.

За 1 мин. частота пульса восстанавливалась примерно на $\frac{2}{3}$. Скорость восстановления не менялась в зависимости от степени дегидратации или уровня температуры воздуха. Общее снижение частоты пульса во время фазы восстановления после легкой работы было меньше, чем после тяжелой, причем оно не зависело ни от температуры воздуха, ни от дефицита воды в организме.

В течение последних нескольких минут работы, во время которых организм испытуемого находился в почти устойчивом состоянии, частота пульса была тем выше, чем больше была нагрузка на организм. Определенное увеличение каждой нагрузки вызывало соответствующее учащение пульса, независимо от того, действовала ли на организм человека одна нагрузка или в комбинации с другими. Это отношение было установлено следующим образом: частота пульса через 8—8,5 мин. после начала работы была принята

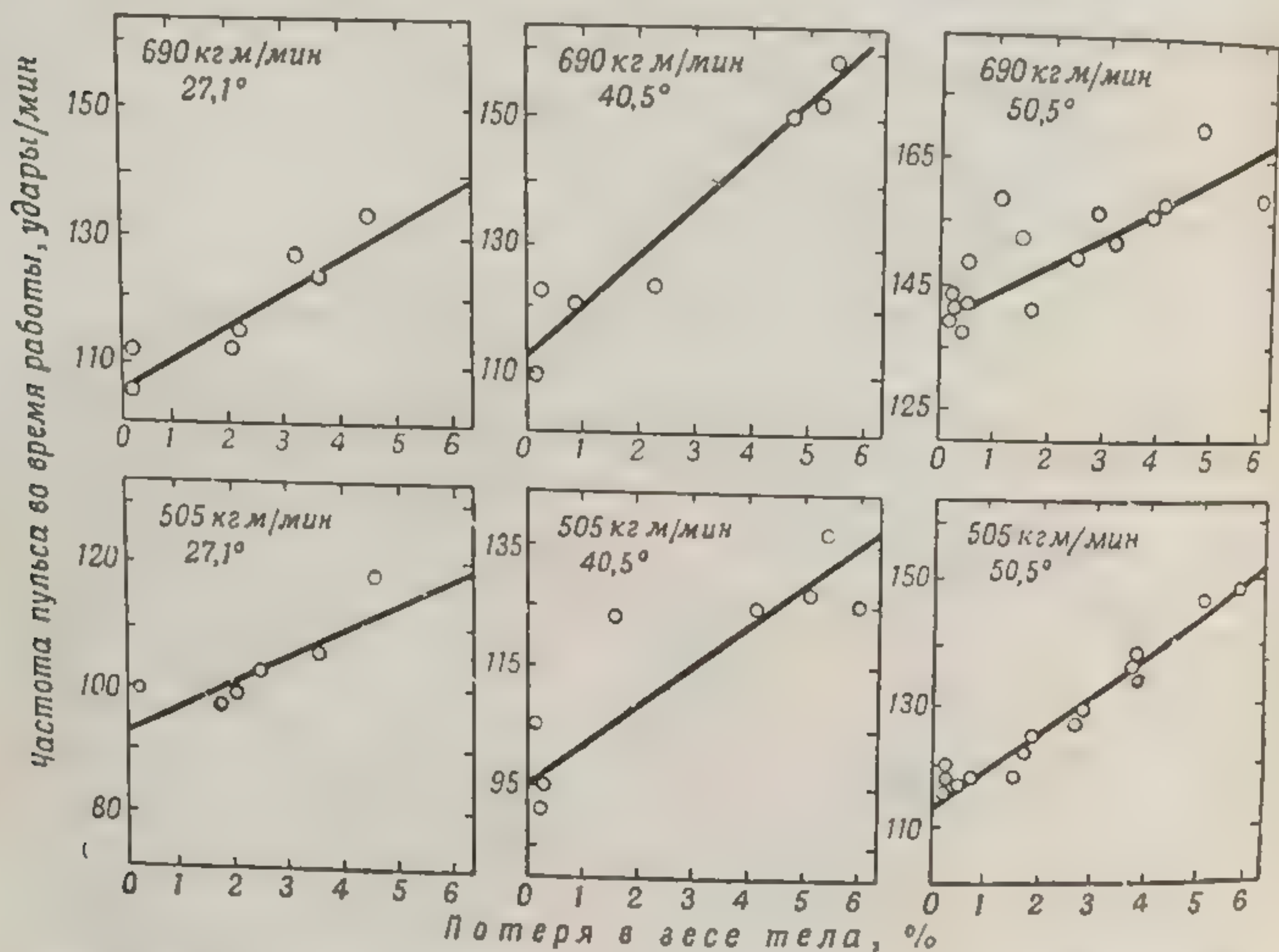


Фиг. 102. Изменение частоты пульса во время работы у испытуемых, упражнявшихся на эргометрическом велосипеде. Данные представленных на графике кривых приложимы к разным испытуемым, находящимся в различных экспериментальных условиях.

за «рабочую» частоту пульса. На фиг. 103 показана связь между рабочей частотой пульса и дегидратацией у одного испытуемого при двух рабочих нагрузках для каждой из трех температур воздуха. Такая зависимость характерна для ответных реакций и других испытуемых. Наклон изображенных линий регрессии и частота пульса при произвольно выбранной степени обезвоживания организма (4% веса тела) использовались для сравнения различий в выполнении разных работ, при указанных на фиг. 103 шести различных температурах, как у одного, так и у разных испытуемых. Методика и данные экспериментов, проведенных на 4 испытуемых приводятся ниже.

Регулировка температуры. Эксперименты проводились в частично изолированной тепловой камере, в которой температура воздуха

всегда колебалась в пределах $\pm 0,3^\circ$. Однако в то время как в любом участке этой камеры температура менялась только на $\pm 0,5^\circ$, в пределах всего помещения существовал большой температурный градиент и некоторые колебания в радиации происходили за счет двойных окон и стен. В те дни когда в камере изменяли температуру, ее регулировали только в пределах $\pm 1,5^\circ$ от нужной температуры, ибо было нерационально ждать установления равновесия при новой



Фиг. 103. Зависимость между частотой пульса во время работы и обезвоживанием у одного испытуемого. Каждый кружок соответствует одному определению.

произвольно выбранной температуре. Относительная влажность соответственно трем использованным в экспериментах температурам (27, 40 и 50°) равнялась приблизительно 30, 15 и 12% ; абсолютная влажность была примерно постоянна.

Работа. Работа производилась на эргометрическом велосипеде с магнитным тормозом, на котором рабочую нагрузку можно было дозировать по желанию. Скорость вращения педалей (60 об/мин.) при помощи метронома все время поддерживалась постоянной. Отдаваемая мощность считалась постоянной в пределах $\pm 5\%$. Рабочие нагрузки, выбранные для каждого испытуемого в соответствии с его физическими возможностями, лежали в пределах 390—690 кгм/мин. При выполнении более трудной работы у всех испы-

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ
ТУСМЫХ ЧАСТОТА
140 ударов мин., а
в 5 раз. Вторая раб

Обезвоживание
ного пототделения
ствием высокой тем
взвешивались прим
в организме каждо
путем сопоставлен
выражался в проц
(без одежды) и обо

Испытуемые. 3
людях (табл. 31). Д
ровки выполняли т
Ежедневный режим
тельностью 10 мин
между ними. Аккл
варительными мер
ми в течение 4 дне
проведенными в теч
ной дегидратации;
6 дней при темпера
ленно нарастающе
проводились в теч
пературы, рабочей
частоты пульса и л
испытуемых по
испытуемые адапт
испытуемых во вр
бумажных брюк,

Частота пульса
при помощи стето

туемых частота пульса через 8 мин. составляла около 140 ударов/мин., а потребление кислорода возрастало примерно в 5 раз. Вторая работа была на 60% легче.

Обезвоживание организма. Во время длительного и интенсивного потоотделения, вызванного физическим упражнением и действием высокой температуры, испытуемые не получали воды. Они взвешивались примерно с часовыми интервалами; водный дефицит в организме каждого испытуемого во время работы определялся путем сопоставления их веса при разных взвешиваниях. Дефицит выражался в процентах от исходного веса каждого испытуемого (без одежды) и обозначался как «процент дегидратации».

Испытуемые. Эксперименты были проведены на 4 здоровых людях (табл. 31). До начала исследований испытуемые для тренировки выполняли тяжелую работу на эргометрическом велосипеде. Ежедневный режим состоял из 6 сеансов работы, каждый продолжительностью 10 мин., с примерно полуторачасовыми интервалами между ними. Акклиматизация обеспечивалась следующими предварительными мероприятиями: а) 15 сеансами работы, проведенными в течение 4 дней при температуре 24°; б) 42 сеансами работы, проведенными в течение 8 дней при температуре 49°, без значительной дегидратации; в) 35 сеансами работы, проведенными в течение 6 дней при температуре 49°, с сопутствующей дегидратацией, постепенно нарастающей до 5—6%. Эти предварительные мероприятия проводились в течение 5 недель. Неизменность ректальной температуры, рабочей частоты пульса, восстановления нормальной частоты пульса и легочной вентиляции, наблюдавшиеся у испытуемых субъектов после этой серии экспозиций, указывала на то, что испытуемые адаптировались к условиям эксперимента. Костюм испытуемых во время экспериментов состоял только из легких бумажных брюк, носков и теннисных туфель.

Таблица 31

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПЫТУЕМЫХ

Испытуемый	Возраст, годы	Вес тела, кг	Рост, см	Поверхность тела, м ²
А	19	71,5	175	1,86
Б	22	62,0	175	1,78
В	26	65,5	177	1,82
Г	34	61,5	168	1,68

Частота пульса. Частота пульса определялась пальпацией или при помощи стетоскопа (на груди испытуемых) с 30-секундными

интервалами в течение каждого 10-минутного сеанса работы. В последние несколько минут работы частота пульса достигала устойчивого уровня. Как уже сообщалось, частота пульса через 8—8,5 мин. после начала работы произвольно определялась нами как «рабочая» частота пульса. Вместо того чтобы считать пульс для каждого интервала времени, рабочая частота пульса устанавливалась по кривым, сходным с изображенными на фиг. 102. После каждого сеанса работы испытуемый оставался сидеть на велосипеде, пока у него в течение 5 мин. считали пульс (счет производился с перерывами). Частота пульса у каждого испытуемого подсчитывалась с точностью ± 1 удара/мин.

Программа экспериментов. Каждому исследованию предшествовали 1—2 дня отдыха. Во время каждого эксперимента трое испытуемых подвергались дегидратации, а один снабжался питьевой водой для сохранения постоянного веса тела. В каждом последующем эксперименте менялся контрольный испытуемый. Обычно эксперимент начинался при температуре $50,5^\circ$. Все 4 испытуемых должны были выполнять разное число 10-минутных упражнений до тех пор, пока трое из них (не получавшие воды) не оказывались в состоянии дегидратации. Затем меняли температуру и остальную часть дня упражнения производились при более низкой температуре (попеременно около 27 и 40°). Между сеансами работы были часовые или полуторачасовые перерывы, и в течение 1 дня испытуемый выполнял максимум 6 упражнений. Изменяя продолжительность действия высокой температуры, можно было получить при разном водном дефиците данные, характеризующие выполнение упражнений при переменных температурах (при которых скорость потоотделения у испытуемых субъектов была ниже).

Пребывание при различной температуре и работа с разной интенсивностью систематически изменялись, для того чтобы избежать возможных ошибок, вызванных привыканием к выполнению упражнений, возникающим за 4-недельный экспериментальный период.

Результаты. Сводка данных по частоте пульса, полученных в результате 245 экспериментов, представлена в табл. 32. Рабочая частота пульса каждого испытуемого сопоставлялась со степенью дегидратации его организма и распределялась на 6 категорий, в зависимости от тяжести выполняемой работы и температуры воздуха (работа двух степеней трудности при 3 различных температурах воздуха). Коэффициент корреляции между частотой пульса и дегидратацией равнялся $+0,80$ (среднее для 4 испытуемых), средний коэффициент регрессии составлял 6,65 удара на 1% дегидратации (индивидуальные значения взвешивались согласно отношению их коэффициентов детерминации). Для определения действия изменений температуры воздуха и интенсивности работы была произ-

1) Коэффициент регрессии (прямой линии) — коэффициент регрессии — Средний коэффициент

A	18
	17
	7
	8
	7
B	6
	16
	15
	7
	8
C	6
	18
	17
	7
	8
D	7
	17
	18
	7
	8

Среднее равно 6,65

Средняя частота пульса

15 Э. Адольф

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ «РАБОЧЕЙ» ЧАСТОТОЙ ПУЛЬСА И СТЕПЕНЬЮ
ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОРГАНИЗМА

Испы- туемый	Число экс- перимен- тов	Температура воздуха, °С	Мощность, кгм/мин	Коэффициент регрессии ¹⁾	Коэффициент детерминации ²⁾	Пульс при 4-процентном обезвожива- нии ³⁾
А	18	50,5	690	4,15	0,56	152
	17	50,4	505	6,00	0,79	139
	7	40,5	690	7,78	0,89	144
	8	40,0	505	5,70	0,75	128
	7	27,1	690	5,63	0,84	128
	6	26,6	505	4,38	0,73	111
Б	16	50,5	550	5,09	0,77	165
	15	50,3	390	5,61	0,71	143
	7	40,2	550	5,93	0,89	149
	8	40,0	390	4,65	0,63	128
	6	28,0	550	5,08	0,45	141
	4	27,0	390	6,00	0,94	121
В	18	50,3	620	4,70	0,73	173
	17	50,3	390	6,65	0,56	150
	7	40,2	620	3,22	0,35	155
	8	40,2	390	4,86	0,63	126
	7	27,5	620	3,08	0,00	145
	6	27,2	390	7,66	0,53	124
Г	17	50,3	505	9,00	0,46	176
	18	50,5	390	9,79	0,76	164
	7	40,5	505	9,37	0,87	154
	8	40,2	390	8,99	0,85	140
	7	27,5	505	10,06	0,89	152
	6	27,2	390	8,21	0,90	133

1) Коэффициент регрессии представляет собой наклон (в ударах/мин на 1% дегидратации) прямой линии, выражающей зависимость пульса (P) от дегидратации (D). Коэффициент регрессии — это b в уравнении $P = a + bD$.

Средний коэффициент регрессии (средние значения b в уравнении $P = a + bD$):

	50,5°	40,5°	26,6°
тяжелая работа	5,5	7,2	7,3
легкая "	7,1	6,3	6,6

Среднее равно 6,65 удара пульса на 1% дегидратации.

2) Коэффициент детерминации (коэффициент корреляции в квадрате) является мерой зависимости частоты пульса от дегидратации.

3) Частота пульса была более изменчивой при малой нагрузке, обусловленной дегидратацией. Другие способы адаптации кровеносной системы (вазомоторная регуляция), очевидно, составляют более вариабельную часть напряженного состояния при небольших нагрузках. Чем выше общее напряжение, тем более точно всякое дальнейшее увеличение нагрузки должно соответствовать учащению пульса. Поэтому мы считали, что для сравнения лучше выбрать частоту пульса при какой-либо произвольно выбранной степени дегидратации (4%).

Средняя частота пульса при 4-процентном обезвоживании:

	50,5°	40,5°	26,6°
тяжелая работа	167	151	142
легкая "	149	131	122

вольно выбрана 4-процентная дегидратация; частота пульса при этом водном дефиците сравнивалась при различных комбинациях интенсивности работы и температуры. В табл. 33 и 34 приведены результаты этих сравнений.

Таблица 33

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА РАБОЧУЮ
ЧАСТОТУ ПУЛЬСА ¹⁾

Испытуемый	Тяжелая работа			Легкая работа		
	Изменения частоты пульса, удары/мин	Изменения температуры воздуха, °C	Отношение, °C/удары	Изменения частоты пульса, удары/мин	Изменения температуры воздуха, °C	Отношение, °C/удары

I. Температура 40—50,5°

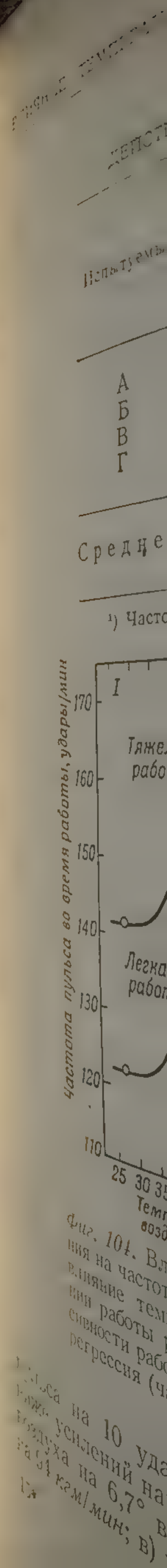
А	8	10,0	1,25	11	10,3	0,9
Б	16	10,2	0,64	15	10,3	0,68
В	18	10,0	0,55	24	10,2	0,42
Г	22	10,3	0,47	24	10,4	0,43
Среднее	—	—	0,73	—	—	0,60

II. Температура 27—40°

А	16	13,4	0,83	17	13,4	0,78
Б	8	12,4	1,55	7	13,0	1,86
В	10	12,7	1,27	2	12,9	6,45
Г	2	12,3	6,15	7	12,9	1,84
Среднее	—	—	2,45	—	—	2,73

¹⁾ Частота пульса при 4-процентной дегидратации.

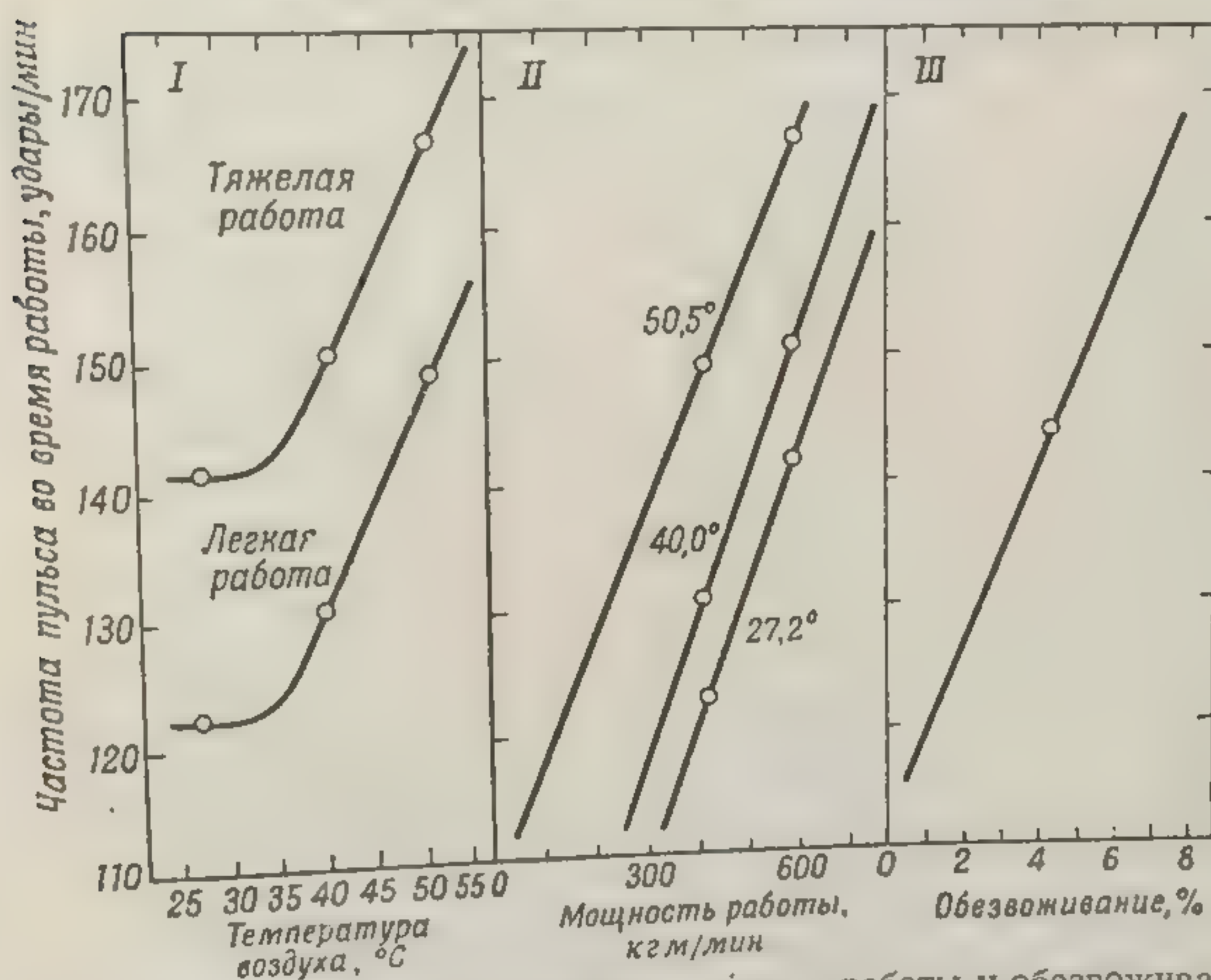
На фиг. 104 при помощи соответствующего сопоставления средней частоты пульса показано различное влияние на нее температуры воздуха, интенсивности работы и дегидратации. График ясно показывает, что как при легкой, так и при тяжелой работе повышение температуры воздуха вызывает примерно одинаковое учащение пульса. Далее, при каждой из трех температур воздуха увеличение интенсивности работы вызывает пропорциональное учащение пульса. Суммируя данные, касающиеся всех использованных нами температур и категорий работы, мы установили влияние дегидратации организма на частоту пульса. Можно сравнить наклоны соответствующих средних линий, учитывая, что учащение рабочего



Фиг. 104. Влияние температуры воздуха, интенсивности работы и дегидратации на частоту пульса. Наклоны на 10 ударов пульса на 1° в воздухе на 6,7° в 54 кг/мин; в) 17

Таблица 34
ДЕЙСТВИЕ РАБОТЫ НА ЧАСТОТУ ПУЛЬСА¹⁾

Испытуемый	Изменение частоты пульса (удары/мин) при температуре			Изменение мощности, кгм/мин	Отношение изменения мощности к изменению частоты пульса
	50,5°	40,5°	26,6°		
А	13	16	17	185	12,08
Б	22	21	20	160	7,62
В	23	24	21	230	10,12
Г	12	14	19	115	7,67
Среднее	—	—	—	—	9,37

¹⁾ Частота пульса при 4-процентной дегидратации.

Фиг. 101. Влияние высокой температуры, работы и обезвоживания на частоту пульса. Среднее для четырех испытуемых I — влияние температуры воздуха на частоту пульса при выполнении работы разной трудности; II — действие изменения интенсивности работы при разной температуре воздуха; III — средняя регрессия (частота пульса при обезвоживании) для всех температур и работы разной трудности.

пульса на 10 ударов/мин. вызывается любым из перечисленных ниже усилений нагрузки на организм: а) повышением температуры воздуха на 6,7° выше температуры кожи; б) увеличением работы на 94 кгм/мин; в) уменьшением веса тела (вследствие дегидратации)

на 1,5%. Следовательно, эти увеличения нагрузок эквивалентны в смысле обуславливаемого ими напряжения кровеносной системы.

Эти результаты показывают, что действие различных нагрузок на кровообращение суммируется. Весьма вероятно, что не только упражнения на велосипеде, но и любая другая работа столь же эффективна в смысле вызывания напряженного состояния в организме испытуемого. Таким образом, можно установить эквивалентность увеличения разного рода нагрузок и на основании этого вычислить относительное влияние каждой из основных нагрузок, которые действуют на человека в состоянии дегидратации, работающего на солнцепеке в пустыне. Таким образом, при любой напряженной работе общее предельное напряжение такое же, каким оно было бы в случае менее трудной работы и определенной степени дегидратации. Другими словами, одинаковая общая нагрузка складывается из различных комбинаций напряжений, обусловленных работой и дегидратацией.

На фиг. 105 показана «схема напряжений», хорошо иллюстрирующая это положение. Нагрузка, вызванная работой, отложена по ординате в единицах затрачиваемой энергии, вычисленной на основании данных о потреблении кислорода во время соответствующей работы. Степень дегидратации отложена по абсциссе и измеряется в процентах уменьшения веса тела. Коэффициент полезного действия механической работы, выполняемой нашими испытуемыми, составлял около 20% (см. табл. 32); этот коэффициент был использован при пересчетах единиц произведенной работы в единицы израсходованной энергии. В тех случаях, когда главными нагрузками на кровеносную систему являются физические упражнения и дегидратация, на схеме можно определить точку, соответствующую каждой из этих нагрузок.

Обе шкалы построены таким образом, что наклонные линии соединяют точки с одинаковым напряжением кровеносной системы. На каждой линии сумма напряжений, обуславливаемых работой и дегидратацией, всегда одинакова; так, например, при более тяжелой работе, но меньшей дегидратации соответствующая точка лишь переместится выше по той же самой линии напряжений. Для удобства эти линии обозначены разными буквами.

В сухой атмосфере нагрузка на кровеносную систему, обусловленная действием высокой температуры, становится значительной только в тех случаях, когда температура воздуха выше температуры кожи. Промежутки между линиями напряжения на фиг. 105 соответствуют повышению температуры воздуха на $5,5^\circ$. Таким образом, если температура воздуха выше температуры кожи на $5,5^\circ$, то человек, общая нагрузка которого, обусловленная работой и дегидратацией, соответствует линии Ж, будет испытывать общее напряжение кровеносной системы, включающее и напряжение, зависящее от тепловой нагрузки и соответствующее линии З (следующей

Влияние на нагрузку
величину фазы
дегидратации, эк
пряжения, эк
мой. Эта ском
лебом и обнаж
костью одетым

Мышечная нагрузка, ккал/м²/час

500

400

300

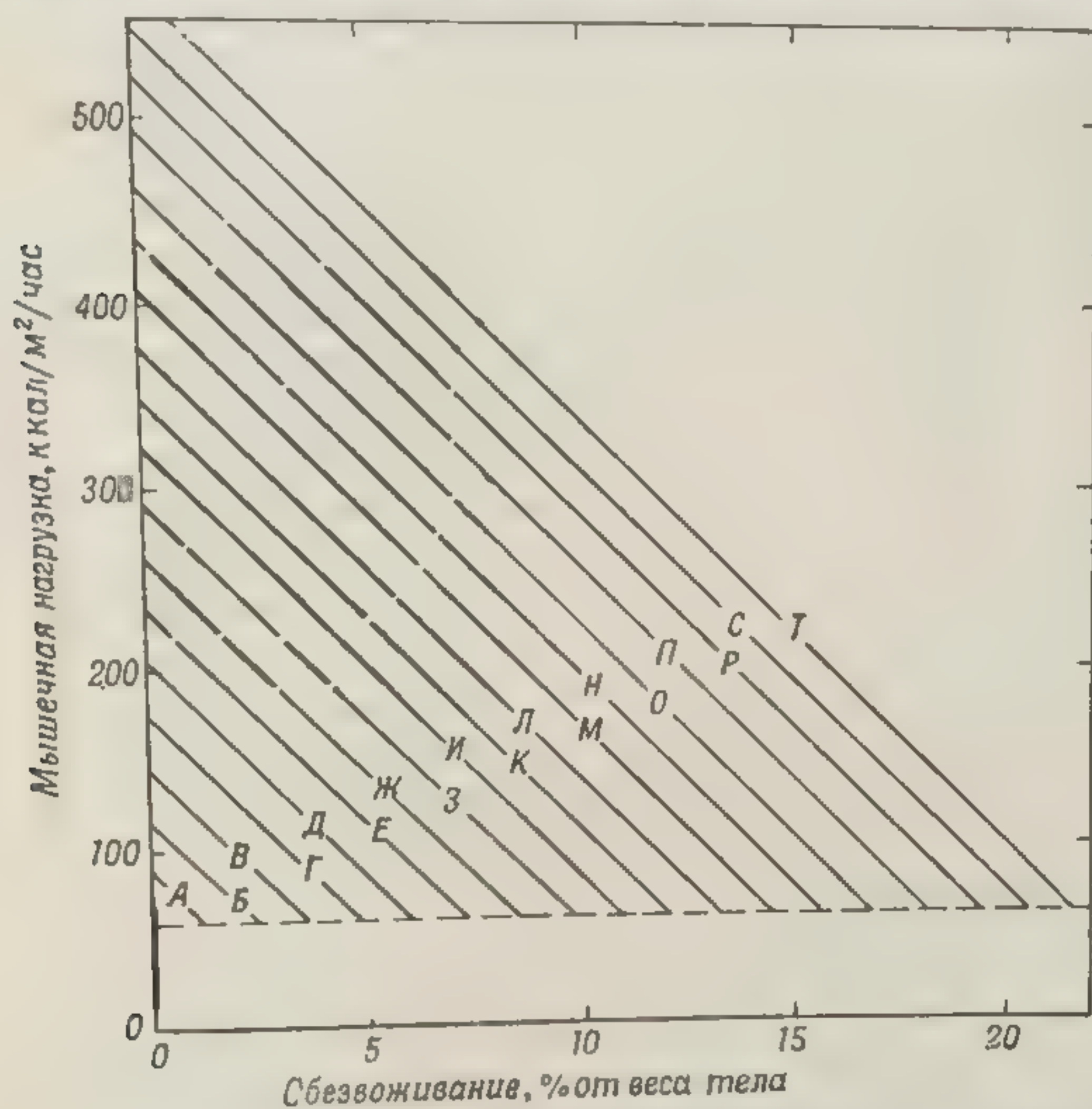
200

100

Фиг.
на ор
темпе

другу. Солне
нительно тако
на $5,5^\circ$ (см. фи
использована
Выводы, д
ваны следую
организм поч
их влиянием
равный 3°
среднюю тем
кровеносной
вызывающая

линии нагрузки). Точки пересечения линий с ординатой указывают величину физической нагрузки, которая без тепловой нагрузки и дегидратации может вызвать в кровеносной системе состояние напряжения, эквивалентное напряжению в любой точке данной прямой. Эта схема применима к людям, находящимся под открытым небом и обнаженным до пояса; на схеме, применимой к людям, полностью одетым, наклонные линии будут расположены ближе друг к

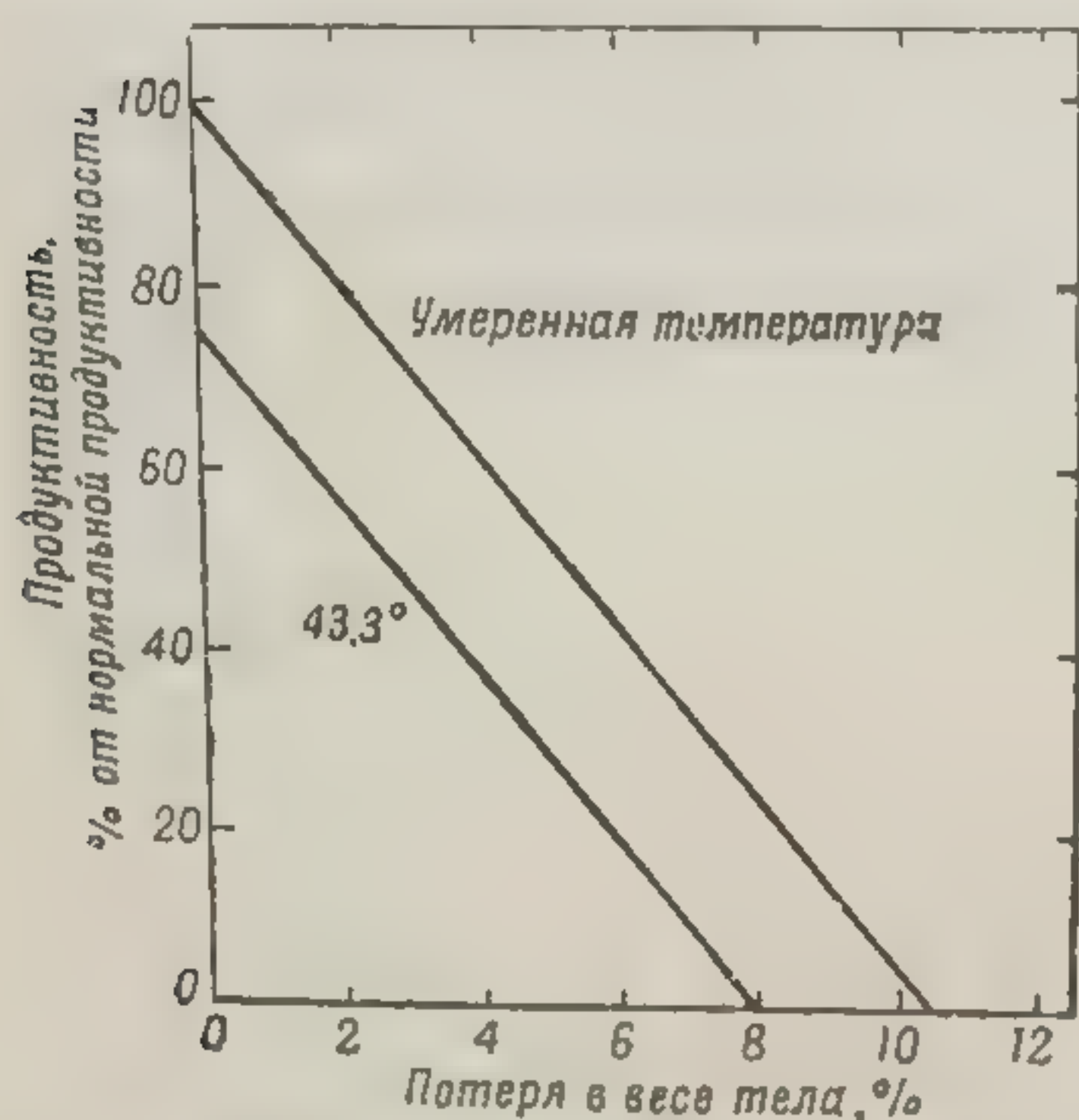


Фиг. 105. Схема для сравнения одновременного действия на организм человека нагрузок, обусловленных высокой температурой, работой и обезвоживанием. Жирные линии соответствуют экспериментальным данным.

другу. Солнечная радиация оказывает на одетого человека приблизительно такое же действие, как и повышение температуры воздуха на $5,5^{\circ}$ (см. фиг. 40). Следовательно, в этом случае схема может быть использована путем добавления дополнительной линии напряжений.

Выводы, делаемые на основании фиг. 105, могут быть суммированы следующим образом: 1) разные нагрузки в своем действии на организм почти строго дополняют друг друга и возникающее под их влиянием напряжение является суммарным; 2) водный дефицит, равный 3% веса тела, или температура воздуха, превышающая среднюю температуру кожи на $13,3^{\circ}$, увеличивает напряжение кровеносной системы человека в такой же степени, как и работа, вызывающая вдвое больший расход энергии; 3) максимальное

расходование энергии, которое может выдержать человек, зависит непосредственно от температуры воздуха и содержания воды в его организме. Поэтому в ночное время можно больше работать, чем в жаркие дневные часы, а интенсивная работа, вполне приемлемая для человека при нормальном водном обмене, становится для него невыполнимой, когда дегидратация достигает достаточной степени.



Фиг. 106. Влияние температуры воздуха и обезвоживания на производительность труда.

Непосредственное практическое использование полученных нами количественных данных заключается в возможности предсказания степени понижения работоспособности у человека, подвергающегося действию высокой температуры воздуха и находящегося в состоянии обезвоживания организма. На основании вышеизложенных данных мы установили следующие эквиваленты для напряжений: 1) повышение температуры воздуха на $5,5^{\circ}$ увеличивает напряжение кровеносной системы в такой же мере, как и расход энергии, равный $29 \text{ ккал/м}^2/\text{час}$; 2) дегидратация, составляющая 1% веса тела, увеличивает напряжение кровеносной системы в такой же мере, как и расход энергии, равный $24 \text{ ккал/м}^2/\text{час}$.

В среднем человек, находящийся в хорошем физическом состоянии, работая с перерывами, может расходовать $300 \text{ ккал/м}^2/\text{час}$. Если считать, что при умеренной окружающей температуре кровеносная система человека не выдерживает большего напряжения, чем напряжение, эквивалентное работе такой интенсивности, то пребывание при температуре воздуха, равной 43° , делает необходимым уменьшение интенсивности работы на 25%. Водный дефицит 2,5% (1,8 л) требует в среднем такого же понижения интенсивности работы. В том случае, когда обе эти нагрузки действуют одновременно, производительность работы должна быть снижена на 50%. На фиг. 106 показано, как высокая температура воздуха и обезвоживание организма совместно влияют на производительность человека, выполняющего напряженную физическую работу. Это один из многих возможных способов использования измерения напряжения кровеносной системы в зависимости от многочисленных нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gregory R. A., Lee D. H. K., *J. Physiol.*, 85, 39 (1935).

Человек об
какую-то рабо
его «рабочих»
ляют. Обычно
ности человек
испарять больш
кровообращени
пяти различны
сферные показ
устойчивом со
эксперименты
прямо перенося
часто достигая
торы, которые
действие их н
В предыду
ция лимитируе
считывалась
большее» возмо
выполнять тяж
него дня в пу
путем можно
и? Каким
ла мы пытали
в самой пусты
и в лабора
ды в основном
дегидратаци

Во время
то в тех случ
шать пешне
исследовали
ских подразд

Глава XIII

ДЕГИДРАТАЦИОННОЕ ИСТОЩЕНИЕ

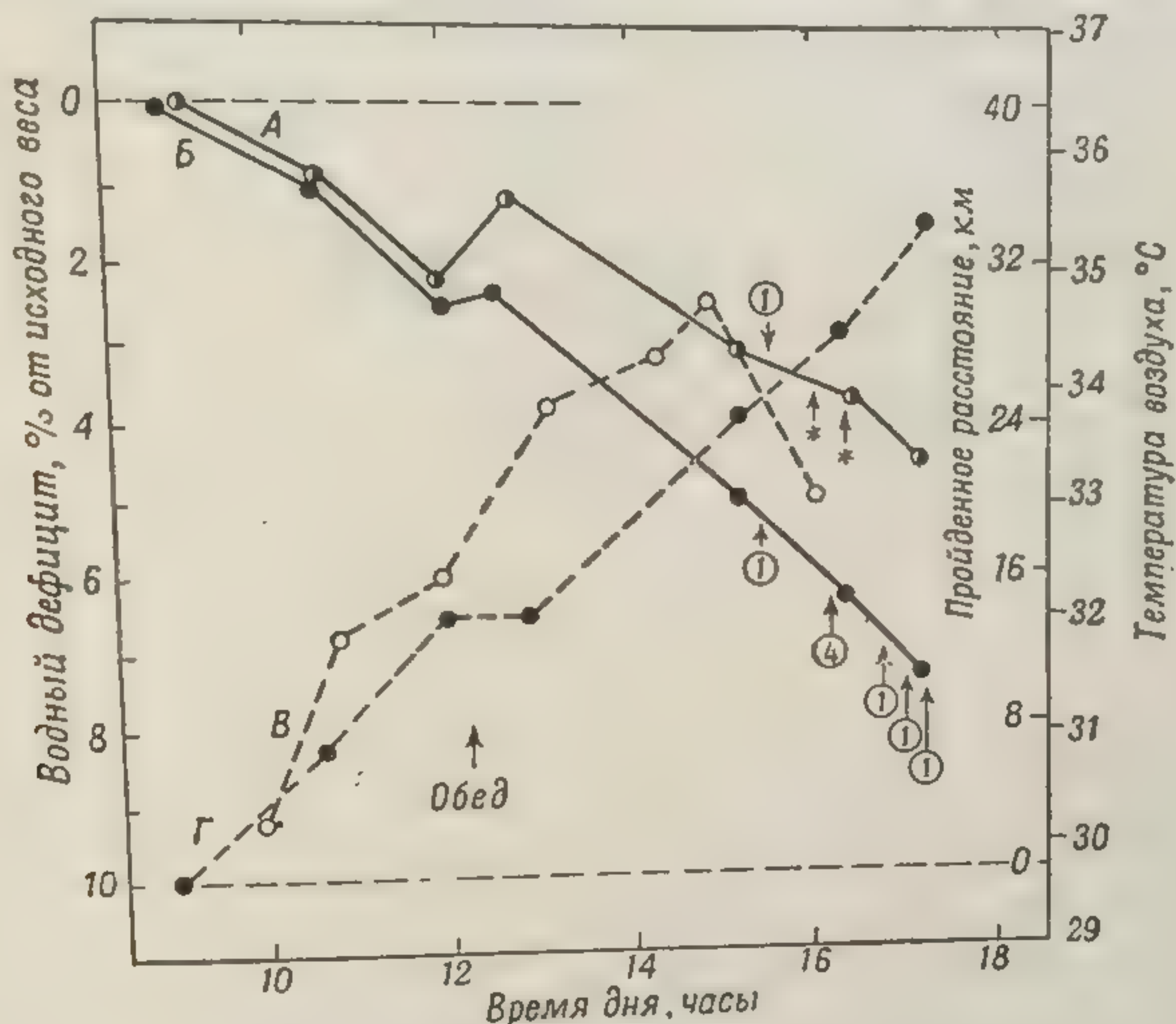
Человек обычно находится в пустыне для того, чтобы выполнять какую-то работу. Поэтому практически важно установить пределы его «рабочих» возможностей и выяснить, какие факторы их определяют. Обычно считается, что в условиях жаркого климата возможности человека определяются либо способностью его организма испарять большее количество пота, либо возможностью изменения кровообращения. Робинзон с сотрудниками [1] установили для пяти различных экспериментальных условий предельные атмосферные показатели, при которых организм может находиться в устойчивом состоянии (фиг. 15). Хотя подобные лабораторные эксперименты и имеют большое значение, их результаты нельзя прямо переносить на условия пустыни, ибо большая скорость ветра, часто достигающая 6—9 м/сек, и интенсивная инсоляция — факторы, которые трудно воспроизвести в лаборатории и поэтому действие их не всегда можно учесть.

В предыдущих главах было показано, что в пустыне дегидратация лимитирует способность человека к ходьбе и поэтому она рассматривалась наряду с другими факторами, определяющими «рабочие» возможности человека. Сколько времени человек может выполнять тяжелую физическую работу в условиях жаркого летнего дня в пустыне? Что предрасполагает его к коллапсу? Каким путем можно наиболее эффективно вывести его из состояния истощения? Каким образом можно увеличить его выносливость? Сначала мы пытались найти ответы на эти вопросы, экспериментируя в самой пустыне, затем сделанные нами выводы подтвердили и уточнили в лабораторных условиях. Излагаемые в этой главе материалы в основном касаются изменений, вызываемых не жарой, а именно дегидратацией.

Сильное обезвоживание организма

Во время нашей экспедиции в пустыню в 1942 г. мы обнаружили, что в тех случаях, когда мы не пили воды, наша способность совершать пешие переходы сильно уменьшалась. Мы систематически исследовали пределы выносливости во время марша пехотных воинских подразделений, служивших нам в качестве испытуемых. На

Средний водный дефицит в конце этого 33-километрового похода достигал у них 4,5% среднего исходного веса тела. Хотя 3 из испытуемых, пользовавшихся водой, оказались не в состоянии закончить поход, мы считаем, что только один из них был в состоянии истощения. В противоположность этому, семь испытуемых, не получавших воды, находились явно в состоянии истощения. Интересно отметить, что у них водный дефицит достигал 6,3—7,4% веса тела. Более



Фиг. 107. Графическое изображение похода в пустыне. 9 испытуемых снабжались питьевой водой, 13 — были лишены ее. Цифры в кружках с вертикальными стрелками указывают количество испытуемых, выбывших из строя вследствие истощения. Звездочками с вертикальными стрелками обозначены испытуемые, выбывшие из строя из-за повреждений ног. А — водный дефицит у испытуемых, снабженных водой; В — водный дефицит у испытуемых, лишенных воды; Г — температура воздуха; Г — пройденное расстояние.

подробные данные приводятся в табл. 35. Повышение температуры тела и учащение пульса отражают напряжение организма, создаваемое работой в условиях жары при отсутствии питьевой воды.

Не во всех экспериментах с пешими переходами, проведенными на солдатах, наблюдалось так много случаев истощения; однако при сравнении полученных данных стало ясно, что именно наличие воды обуславливает различие в степени истощения. В экспериментах неизбежно выбывали из строя только испытуемые, обладавшие наименьшей способностью выносить в условиях жаркой пустыни и при отсутствии воды работу умеренной трудности. Если бы эксперименты

Таблица 35

ПОЯВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИСТОЩЕНИЯ У ИСПЫТУЕМЫХ ВО ВРЕМЯ ПОХОДА
30 СЕНТЯБРЯ 1942 г. (начало похода 9 час. 05 мин.)

Испы- туемый	Прой- денное рассто- яние, км	Выбыли из строя	Причины остановки	Частота пульса в начале похода	Частота пульса в конце похода	Ректальная темпера- тура в кон- це похода, °C
				удары/мин		

I. С водой

А	33,7	17 час. 10 мин.	Окончание похода	—	—	—
Б	29,9	16 » 18 »	Возможно истоще- ние	—	—	—
В	28,3	16 » 00 »	Сомнителен	—	—	—
Г	25,7	15 » 30 »	Пузыри на ногах	—	—	—
Д	33,7	17 » 10 »	Окончание похода	—	—	—
Е	33,7	17 » 10 »	» »	—	—	—
Ж	33,7	17 » 10 »	» »	—	—	—
З	33,7	17 » 10 »	» »	—	—	—
Д	33,7	17 » 10 »	» »	—	—	—

II. Без воды

К	31,3	17 час. 02 мин.	Истощение	98	144	—
Л	33,7	17 » 05 »	Окончание похода	88	150	37,2
М	28,1	16 » 10 »	Истощение	97	—	39,0
Н	28,1	16 » 10 »	»	74	—	38,3
О	33,7	17 » 05 »	Окончание похода	56	129	39,9
П	16,8	15 » 24 »	Волдыри на ногах	94	—	—
Р	33,7	17 » 05 »	Окончание похода	90	123	38,4
С	33,7	17 » 05 »	»	72	132	38,5
Т	28,1	16 » 10 »	Истощение	92	—	39,5
У	29,7	16 » 45 »	»	79	—	—
Ф	28,1	16 » 10 »	»	73	—	39,6
Х	33,7	17 » 05 »	Окончание похода	88	120	38,0
Д	33,7	17 » 05 »	»	82	120	38,1

продолжались до тех пор, пока все испытуемые не оказались бы в состоянии несомненной дегидратации, вероятно, проявилось бы более значительное различие между людьми, имевшими питьевую воду и лишенными ее.

Эти условия мы смогли выполнить в экспериментах, проведенных на персонале нашей лаборатории. Полученные результаты дали нам возможность составить более точное представление о степени выносливости человека. В 37 экспериментах мы наблюдали 15 случаев истощения, в которых водный дефицит достигал 3—8% исходного веса тела. Среди контрольной группы, которая во время похода получала воду, истощение не наблюдалось ни разу (табл. 36).

Таблица 36

ДЕГИДРАТАЦИОННОЕ ИСТОЩЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ

Испытуемый	Дата	Температура воздуха в момент истощения, °C	Водный дефицит, % от веса тела	Пройденное расстояние, км	Ректальная температура, °C	Примечания
А	23.VIII 1942 г.	35	4—5	11,2 (подъем 305 м)	—	Устал, удручен; не очень страдал от жажды; пища, отдых и вода облегчили состояние истощения
Б	23.VIII	35	3,5—4,7	9,6 (подъем 180 м)	—	Голоден; не ощущал жажды; крайнее физическое утомление; удручен; чувствовал себя лучше, когда не сидел, а двигался; сильнее ощущал потребность в тени и покое, чем в воде; тепловое угнетение; чувствовал себя лучше, когда солнце пряталось за облака
В	23.VIII	35	4,5—5,6	11,2 (подъем 305 м)	—	Крайнее утомление, сонливость, чувство голода; состояние улучшилось после отдыха и приема пищи и воды; ощущение жажды не очень мучительно
Б	27.VIII	36	4,2	14,4	—	Начал плохо себя чувствовать примерно за 3 мин. до остановки; утомление не очень сильное; через минуту после остановки — сильная слабость; пульс 118 (сидя); дыхание 44; мурашки в руках, обильное потоотделение, но без теплового угнетения; с трудом говорил, причем это не улучшалось при смачивании слизистой рта; никакого нарушения зрения; 600 см ³ воды с декстрозой значительно улучшили состояние и вызвали появление чувства жажды, которое раньше не обнаруживалось; пульс 92; речь нормальная; появившееся ощущение покалывания прошло через 9 мин. после приступа истощения; всего выпил 1 л воды
В	27.VIII	36	5,7	—	—	Утомление; пульс частый; ослабел, но мог бы в случае необходимости продолжать идти

Продолжение

Испытуемый	Дата	Температура воздуха в мо- мент истоще- ния, °С	Водный дефи- цит, % от ве- са тела	Пройденное расстояние, км	Ректальная температура, °С	Примечания
А	2.IX 1942 г.	40,5	4,2	9,9	38,5	Утомление; горит лицо; одышка; близок к обмороч- ному состоянию; вода об- легчила плохое состояние
Г	2.IX	40,5	4,3	14,3	38,9	Вначале резкое чувство жаж- ды; затем жажда уменьши- лась; за 20 мин. до на- ступления коллапса общее состояние удовлетвори- тельное; за 5 мин. до насту- пления коллапса—слабость в ногах, передвигается с трудом; в конце — слабое ощущение жажды; единст- венное желание — остано- виться и отдохнуть; го- раздо важнее кажется пре- кратить ходьбу, чем на- питься
Б	4.IX	—	2,5—3,0	Не ходил	—	Состояние дегидратации в лагере продолжалось в те- чение 24 час.; не брался ни за какую трудную работу; острая жажда, особенно после приема пищи; физи- ческое и умственное утом- ление; не хотел ни вста- вать, ни ходить; раздражи- телен и мрачен; после питья воды быстро возвратилась бодрость
А	8.IX	39,5	6,0	12,8	38,7	Утомление, сонливость, по- давленное состояние; 45-ми- нутный отдых в тени не об- легчил состояния; прием воды заметно улучшил со- стояние и вернул бодрость
Б	8.IX	39,5	5,0	12,8	—	Утомление; покалывание в мышцах одной руки; не очень страдал от жажды; часовой отдых в тени не облегчил усталости; однако все время бодр; оказался в состоянии идти дальше почти немедленно после приема воды

Испытуемый

Дата

Г 10.IX

Д 10.IX
Е 10.IX
Ж 10.IX

В 16.IX

З 16.IX

И 16.IX

Б 18.IX

Б 30.IX

Испытуемый	Дата	Температура воздуха в момент истощения, °С	Водный дефицит, % от веса тела	Пройденное расстояние, км	Ректальная температура, °С	Примечания
Г	10.IX	36	—	17,1	—	Шел очень быстро, утомление прогрессирует слабо; чувствовал, что его состояние только частично вызвано дегидратацией; крайняя мышечная усталость
Д	10.IX	36	—	17,1	—	Все трое одновременно перестали состязаться в ходьбе; признали себя истощенными
Е	10.IX	36	—	17,1	—	
Ж	10.IX	36	—	17,1	—	
В	16.IX	40,5	6,6	17,9	—	Крайнее утомление; раздражала жажда; в состоянии продолжать ходьбу, но по всей вероятности уже почти достиг предела выносливости
З	16.IX	40,5	3,4	—	—	Боль во всем теле; пошатывался; покалывание в мышцах обеих рук; обморочное состояние
И	16.IX	40,5	7,0	17,9	—	Крайнее утомление; терпимая жажда
Б	18.IX	40,0	7,0	19,2	—	Постепенно нарастающее утомление; ощущение жажды беспокоило, но не было сильным; боль в солнечном сплетении стала острой к концу похода; после приема воды состояние улучшилось
Б	30.IX	34,5	7,8	31,2	—	Легкое недомогание, пока дегидратация не превышала 6% веса тела; боль в солнечном сплетении; чувствовал дурноту; был не в состоянии сохранять установленную скорость движения; требовал, чтобы максимальная скорость была такой, при которой только едва появляется видимый пот; острое ощущение физической усталости и умственная депрессия; мышцы не болели; прием воды в значительной степени облегчил утомление, но полное восстановление нормального состояния наступило только на следующий день

Продолжение

Испытуемый	Дата	Температура воздуха в момент истощения, °C	Водный дефицит, % от веса тела	Пройденное расстояние, км	Ректальная температура, °C	Примечания
К	30.IX	34,5	6,5	29,6	—	Необщителен; жаловался на жажду; начал отставать и в конце концов остановился; заявил, что в этом повинна не усталость, а жажда
Л	30.IX	34,5	5,9	28,0	39,5	Были не в состоянии идти с установленной скоростью; крайнее утомление Пульс 168 при дегидратации 6,2% веса тела; при дегидратации 7,3% чувствовал дурноту при остановках; через 5 мин. наступило обморочное состояние; кожа теплая; пульс 132 в лежащем положении; ректальная температура 38,5°
М	30.IX	34,5	6,7	28,0	39,4	
Н	30.IX	34,5	5,4	28,0	39,0	
О	30.IX	34,5	5,8	28,0	38,3	
П	30.IX	34,5	7,3	33,6	38,5	
Б	9.VII 1943 г.	45,5	7,8	15,2	—	Утомление; шел медленно; состояние крайнего теплового угнетения; одышка; покалывание; чувство жажды не настолько сильно, чтобы пить тепловатую воду; для того чтобы улучшить самочувствие, обрызгал себя водой
Р	9.VII	45,5	7,8	15,2	—	Спазмы в кишечнике; утомление; острая жажда; тяжелое дыхание; тепловое угнетение
С	9.VII	42,5	4,9	12,8	—	Резкая жажда; сильная слабость; утомление; головная боль; одышка
Т	9.VII	45,5	—	32,0	—	Шел ночью; жажда; утомление; тепловое угнетение; раздражен; агрессивен; тошнота при остановках
Р	9.VII	45,5	—	33,6	—	Шел ночью; больше мучила не жажда, а утомление, которое ощущалось и на следующий день

Исследование сильных степеней дегидратации было продолжено в лабораторных условиях путем изучения более 20 случаев истощений, аналогичных тем, которые мы наблюдали в пустыне. Дегид-

ДЕГИДРАТАЦИОННОЕ ИСТОЩЕНИЕ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Испытуемый	Дата	Температура воздуха в момент истощения, °C	Водный дефицит, % от веса тела	Ректальная температура, °C	Примечания
У	22.XII 1942 г.	40,5	9,1	40,3	Острое недомогание; темп упражнений на велосипеде замедлен; через 0,5 мин. после прекращения упражнений близок к обморочному состоянию; сильная одышка, не может ни идти, ни стоять; спастические сокращения мышц рук; 1510 см ³ 3-процентного раствора соли через 20 мин. привели к восстановлению хорошего состояния
Ф	22.XII	40,5	8,1	38,7	Постепенно замедлял темп упражнений; пульс аритмичный; глубокая одышка; Ромберг положительный
У	27.XII	46	7,8	38,0	Дрожание ног; замедлял темп выполнения упражнений; отдых в прохладном помещении не устранил утомления; 2 500 см ³ воды и 10-минутный сон улучшили состояние
Ф	27.XII	46	8,3	—	Замедлял темп выполнения упражнений; нетвердо держался на ногах; сонливость; по временам несколько многословен; раздражителен
В	27.XII	46	9,1	39,8	Острое недомогание; не замедляет темпа упражнений, но отказывается продолжать их; пульс 125 (сидя)
У	30.XII	47	6,2	38,6	Удрученное состояние; сильное утомление; выразил желание отдохнуть; отдых в течение 1 часа в тепловой камере не привел ни к чему
Ф	30.XII	47	7,4	37,9	Не мог выдержать нужного темпа упражнений; острая жажда; одышки нет; лицо бледное; явная слабость и явно выраженное депрессивное состояние
У	2.I 1943 г.	47	11,0	40,2	В вертикальном положении — тошнота, головокружение; жажда; голоден; не в состоянии говорить из-за слишком большой сухости рта; внезапно прекратил упражнение на велосипеде; Ромберг положительный; чувство одурманенности; выглядел как пьяный; голова опущена; слегка истеричен; в конце эксперимента — ощущение жажды не очень сильное; не в состоянии плюнуть; сонливость; говорил с напряжением; слабая одышка; общителен и не раздражителен

Продолжение

Испытуемый	Дата	Температура воздуха в момент истощения, °C	Водный дефицит, % от веса тела	Ректальная температура, °C	Примечания
Ф	2.I	47	8,1	37,9	Начал сдавать темп с начала последнего упражнения; одышки нет; Ромберг отрицательный
В	2.I	47	7,9	38,9	Вскоре после начала последнего упражнения ноги настолько устали, что не мог продолжать идти дальше; тошнота; обильное потоотделение; после выхода из тепловой камеры появилось сильное чувство голода

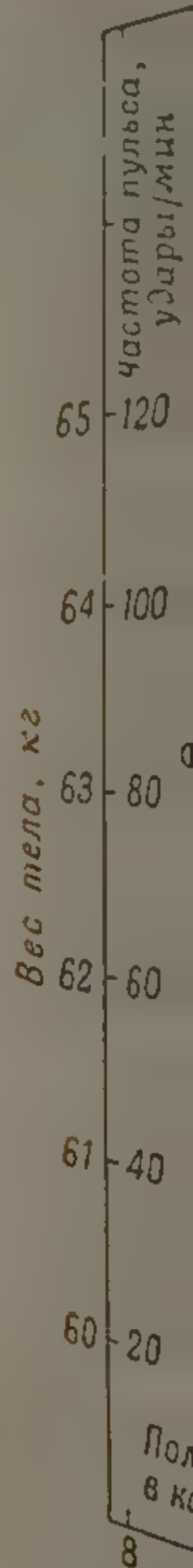
ратация вызывалась путем упражнений на эргометрическом велосипеде в искусственно созданных условиях пустыни: при температуре воздуха $48,8^{\circ}$ и относительной влажности 12%. В результате этих более тщательно контролируемых экспериментов мы установили соотносительное влияние действия высокой температуры, интенсивности работы и дефицита воды в организме в тот момент, когда испытуемый приближается к состоянию коллапса (табл. 37).

Для того чтобы можно было составить себе ясное представление об этом типе физического недомогания, мы сначала дадим клиническое описание синдрома истощения, а затем уже перейдем к рассмотрению признаков, которым можно дать количественное определение. Таким путем мы сможем в конце концов прийти к объяснению механизма истощения и установить его роль при обезвоживании организма.

Синдром истощения в условиях пустыни

Кроме жажды, все симптомы дегидратации, в основном, служили показателями наступающего коллапса. Непределенное общее недомогание и ощущение беспокойства наступало очень быстро после появления ощущения сухости во рту. Появлялось сильное желание есть или лечь. Часто отмечалась сонливость. Обычной была жалоба на ощущение теплового угнетения, которое часто было сильнее, чем жажда. Мышечное утомление постепенно делалось более острым, хотя координация движений при выполнении трудовых операций заметно не менялась. Наиболее верными признаками приближающегося коллапса были: учащение пульса и повышение ректальной температуры. Иногда отмечалась значительная одышка.

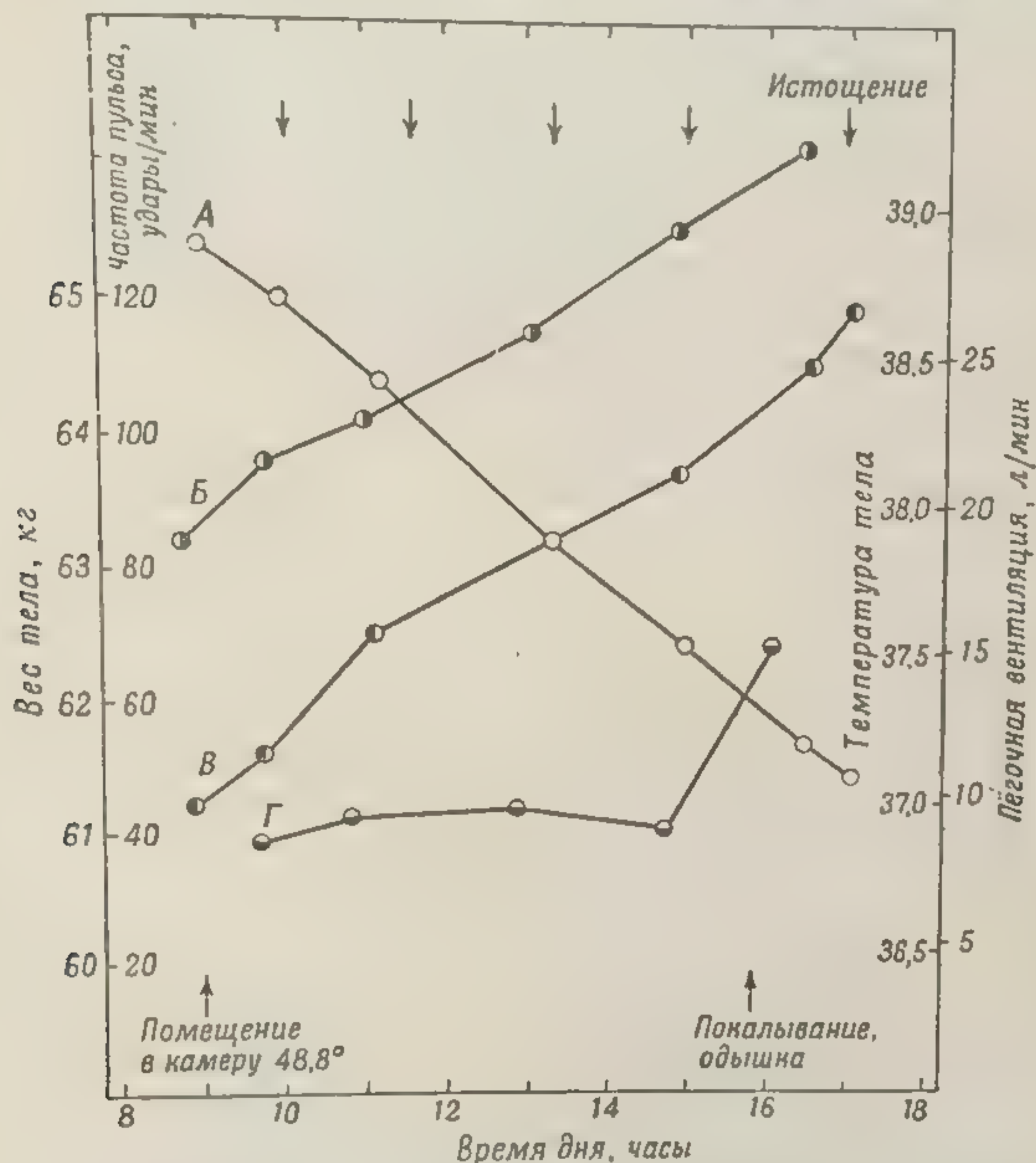
Часто у испытуемого лицо. В состоянии истощения, в котором у него в результате ходьбы



Фиг. 108. В состоянии истощения в воздухе $48,8^{\circ}$ мин. (указаны наступившие после каждой минуты пульса; В результате у 108 иллюстрируется, как в пустыне, если последний 16 э. Адольф

Часто у испытуемых наблюдалась синюшность (цианоз) и горело лицо. В состоянии истощения в некоторых случаях появлялось ощущение покалывания в мышцах рук и ног.

На фиг. 66 показаны результаты типичного полевого эксперимента, в котором у испытуемого наступало состояние истощения в результате ходьбы без питьевой воды. Такое же состояние истощения



Фиг. 108. Исследование испытуемого, выполняющего работу в состоянии дегидратации в тепловой камере. Температура воздуха $48,8^{\circ}$. Продолжительность каждого сеанса работы 10 мин. (указаны стрелками); мощность 550 кгм./мин. Истощение наступило через 2 мин. после начала последнего сеанса работы. Измерения производились не позже, чем через 30 мин. после каждого сеанса работы. А — вес тела; Б — частота пульса; В — ректальная температура; Г — легочная вентиляция.

проявлялось у того же самого испытуемого и в тепловой камере в результате упражнений на эргометрическом велосипеде. Фиг. 108 иллюстрирует характерный в этом отношении эксперимент. Как в пустыне, так и в лаборатории вес испытуемого понижался, если последний не выпивал количества воды, достаточного для

компенсации потери жидкости с потом. Учащение пульса и повышение температуры тела предвещали наступление истощения. И в тех и в других экспериментах наблюдалась одышка, гипервентиляция легких и покалывание в мышцах; субъективные ощущения испытуемых в обоих случаях также были сходными. Таким образом, очевидно, что как в лабораторных, так и в полевых условиях наступало то же самое состояние истощения.

Когда в таком эксперименте испытуемый, находящийся в состоянии, близком к истощению, постепенно уменьшал делаемые им усилия, то не наблюдалось резкого наступления коллапса; если же он напрягал все усилия для сохранения прежнего темпа работы, то обморочное состояние наступало внезапно. Во всех случаях испытуемый считался «истощенным», когда он оказывался не в состоянии сохранять установленную скорость ходьбы или упражнений на велосипеде. Необходимо подчеркнуть, что признаки и симптомы истощения наблюдались при наличии следующих условий: 1) умеренная или напряженная работа, 2) высокая температура воздуха, 3) дегидратация.

Само собой разумеется, что способность человека выполнять работу можно было проверить только на работающем испытуемом; в жаркие дни в пустыне одной работы было, как правило, не достаточно для того, чтобы вызвать наступление коллапса. Однако при наступлении дегидратации испытуемый ни отдыхом, ни пребыванием при умеренной температуре не мог восстановить своей работоспособности. Таким образом, ведущую роль здесь, повидимому, играет дегидратация, и поэтому есть все основания эту особую форму физического недомогания называть «дегидратационным истощением». Дегидратационное истощение тесно связано с тепловым истощением, но не аналогично широко известному (хотя еще и не достаточно изученному) тепловому удару — явлению, принципиально отличному, ибо синдром теплового удара включает признаки нарушения терморегуляторной способности, например торможение секреции пота (симптом, которого мы никогда не наблюдали при дегидратационном истощении). Поэтому мы избрали термин «дегидратационное истощение» с целью подчеркнуть его наиболее характерную черту — значительный дефицит воды в организме.

Почему наступает состояние истощения?

Учащение пульса, лихорадка, состояние возбуждения, одышка, усталость и, наконец, обморочное состояние при прекращении работы — все это свидетельствует о недостаточности периферического кровообращения. Из всех циркуляторных проявлений приближающегося коллапса наиболее удобными для измерения при проведении экспериментов с дегидратацией оказались частота сердечных сокращений и ректальная температура. Мы уже отмеча-

...и, что частота му-
оживания ор-анизма
вре усталости бо-
увеличение нагрузки
ем степени дегидратационное истощение
пытается показать, к
средственно содейств
торные механизмы
предела.

Каждое воздействи-
лю циркуляции кр-
ой скорости тока к
системы. Физические
духа представляют со-
ответственного уско-
ие гемостатического давлени-
являются приме-
для регуляторные м-
а сохранять ее на пр-
е связано с
ращения. Дифферен-
пульса и увеличение с-
ими факторами, уск-
Факторы, огранич-
1) расширение сосудов
возможным для данн-
в крови других орган-
мом крови; 2) учащ-
тем, что диастола ста-
крови оказывается не-
наполнения сердца; д-
приводит к увелич-
Можно предполож-
и дегидратации д-
е только легко об-
пульса или темпер-
однозначно нагруз-
ра, работа или наку-
напряжения кровенос-
и повышения ректальн-
каждую температуру
нагрузки из них, нест-
агрузки, требует ст-
аторного напряжения
плетные реакции со-

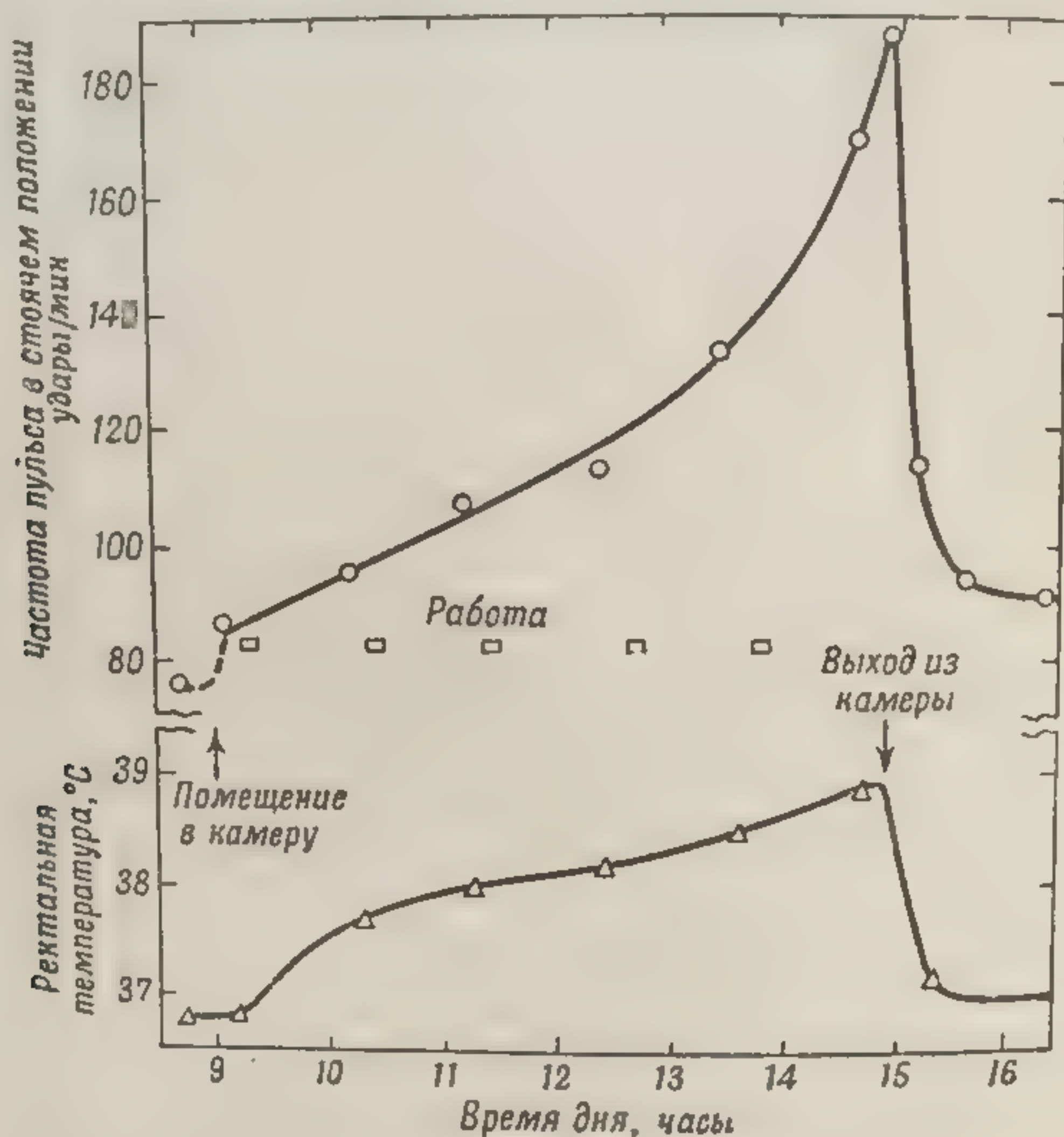
чали, что частота пульса и температура зависят от степени обезвоживания организма человека (см. главу XI). Эти изменения по мере увеличения водного дефицита отражают соответствующее увеличение нагрузки на кровеносную систему, вызванное повышением степени дегидратации. Таким образом, мы определяем дегидратационное истощение как недостаточность кровообращения и пытаемся показать, каким образом уменьшение объема крови непосредственно содействует этому нарушению и какие компенсаторные механизмы кровеносной системы напрягаются сверх предела.

Каждое воздействие, приводящее к местному или общему усилению циркуляции крови или загромождающее сохранение определенной скорости тока крови, является нагрузкой для кровеносной системы. Физические усилия и действие высокой температуры воздуха представляют собой нагрузки первого рода, ибо они требуют соответственного ускорения тока крови в мышцах и коже. Понижение венозного давления или уменьшение объема циркулирующей крови являются примерами нагрузок второго рода, ибо они вынуждают регуляторные механизмы не усиливать циркуляцию крови, а сохранять ее на прежнем уровне. Всякое физиологическое приспособление связано с определенным напряжением системы кровообращения. Дифференциальные вазомоторные реакции, учащение пульса и увеличение систолического объема сердца являются основными факторами, ускоряющими циркуляцию крови.

Факторы, ограничивающие эти изменения, хорошо известны: 1) расширение сосудов лимитируется максимальным расширением, возможным для данной части сосудистой системы, потребностью в крови других органов или тканей и, наконец, имеющимся объемом крови; 2) учащение пульса лимитируется главным образом тем, что диастола становится слишком короткой или количество крови оказывается не достаточным для обеспечения нормального наполнения сердца; дальнейшее учащение пульса в этих случаях не приводит к увеличению минутного объема сердца.

Можно предположить, что легкое нарушение кровообращения при дегидратации должно усиливаться. Выше было показано, насколько легко обнаружить действие дегидратации на частоту пульса или температуру тела, независимо от других действующих одновременно нагрузок, таких, например, как высокая температура, работа или наклонное положение тела. Показателями общего напряжения кровеносной системы являются учащение пульса и повышение ректальной температуры; меняя основные нагрузки: высокую температуру, работу и дегидратацию, мы показали, что каждая из них, независимо от других одновременно действующих нагрузок, требует от кровеносной системы определенного компенсаторного напряжения. Поэтому при наличии различных нагрузок ответные реакции со стороны кровеносной системы суммируются.

Не всегда можно предсказать, действительно ли наступит истощение. Так, например, в серии из восьми лабораторных опытов по дегидратации у 4 испытуемых с водным дефицитом, составлявшим 6% веса тела, наблюдался только один случай истощения (фиг. 109). Очевидно, при этом произошло какое-то дополнительное физиологическое нарушение, хотя нами ничего не было обнаружено.



Фиг. 109. Частота пульса и ректальная температура у испытуемого, подвергавшегося обезвоживанию в тепловой камере. Температура воздуха 50°; относительная влажность 12%. Частота пульса значительно возрастает, достигая 188 ударов/мин. При прекращении эксперимента потеря веса тела у испытуемого составляла 5,8%, концентрация сыворотки крови повысилась на 16%, испытуемый жаловался на тошноту — явный случай теплового и дегидратационного истощения.

Суммарное действие нагрузок превышает в конце концов индивидуальный предел выносливости и делает невозможным дальнейшее общее напряжение кровеносной системы. В таком случае необходимо уменьшить какую-либо из возрастающих нагрузок. Так, например, если человек не имеет возможности выпить воды или перейти в более прохладную атмосферу, то он должен понизить темп работы. При постепенном понижении темпа работы он может компенсировать дальнейшую дегидратацию и продолжать работу со все возрастающим замедлением; если же он попытается сохранить прежний темп работы, то внезапно оказывается в состоянии полного

коллапса. Стало ясно, что дегидратационное истощение фактически зависит от нагрузки на кровеносную систему. Из этого графика можно вывести, что степень дегидратации зависит от нагрузки, обуславливаемой операцией. Эквивалентные нагрузки действуют эквивалентно. Наклонные линии на графике (фиг. 109) представляют эквивалентную частоту пульса и соответствуют данной нагрузке. Выход из камеры является критерием выносливости, характеризуется наклонной линией.

Мы установили, что при нагрузках, укладываясь в нормальных условиях — возможностей человека, когда напряженность М, изображаемая на графике, превышает М, представляющую нормальную нагрузку при ходьбе. Непредельно превышающим М, вынести дольше неслось. Поэтому в точке дегидратации равновесия, когда человек достигает уровня расхода, максимуму для другой стороны — линии покоя или нагрузки 15-процентного дефицита воды, новится его исходная равна невозможности. По примерному 15-процентному дефициту, вполне вероятно, что человек может выйти за пределы выносливости.

коллапса. Однако и в том и в другом случае он приходит в состояние дегидратационного истощения.

Фиг. 105, иллюстрирующая суммарное действие различных нагрузок на кровеносную систему, может помочь понять взаимоотношение факторов, участвующих в дегидратационном истощении. На этом графике нагрузка, создаваемая работой, отложена по оси ординат; степень дегидратации — по оси абсцисс. Обе шкалы, как для нагрузки, обусловливаемой работой, так и для нагрузки, вызываемой дегидратацией, построены таким образом, что нагрузка, изображаемая определенным отрезком каждой шкалы, соответствует эквивалентной нагрузке на другой шкале. Так как различные нагрузки действуют независимо и эффект их суммируется, наклонные линии на фиг. 105, обозначенные буквами *A—T*, выражают эквивалентную общую нагрузку (как это указывает возрастание частоты пульса) и предел выносливости, всякий раз когда они соответствуют данной предельной нагрузке. Таким образом, для любого критерия выносливости предельная общая нагрузка изображается наклонной линией.

Мы установили, что в условиях пустыни истощение наступает при нагрузках, укладывающихся между линиями *L* и *H*; в лабораторных условиях — между *L* и *O*. Практически средний предел возможностей человека в отношении ходьбы достигается в том случае, когда напряжение его кровеносной системы соответствует напряжению, изображаемому наклонной линией *M*, и поэтому линия *M* представляет собой приблизительный предел выносливости при ходьбе. Непрерывное усилие несовместимо с напряжением, превышающим *M*, ибо большее напряжение человек не может вынести дольше нескольких минут. Наклонная линия *M* пересекает ось ординат в точке, соответствующей нагрузке $410 \text{ ккал. м}^2/\text{час}$. Поэтому в условиях умеренной температуры и при отсутствии дегидратации равноценное напряжение создается только в том случае, когда человек работает с интенсивностью, соответствующей этому уровню расходования энергии (как известно, в среднем почти максимальному для человека). Следуя по линии напряжений *M* в другую сторону — вниз, мы видим, что она пересекает основную линию покоя или линию минимального напряжения в точке, соответствующей 15-процентному водному дефициту. Другими словами, когда дефицит воды в организме человека превышает приблизительно 15% его исходного веса, то даже минимальное напряжение становится невозможным. Следовательно, предельная дегидратация равна примерно 15%.

По необходимости мы вели наше рассуждение непрямым путем; вполне вероятно, что человек, находящийся в состоянии дегидратации, сможет выдержать гораздо больший водный дефицит, хотя, быть может, только в коматозном состоянии; очевидно, действительный предел выносливости приближается к 20-процентной дегидра-

тации. Совершенно очевидно, что определения предела выживания неточны, но мы склонны придерживаться более оптимистичных предположений относительно выносливости человека.

Испытуемый субъект, работающий на третбане (treadmill), может ходить со скоростью 3 км/час, что соответствует расходу энергии, примерно 100 ккал/м²/час. Коэффициент полезного действия при ходьбе в пустыне значительно ниже максимального, так как рыхлый песок, камни и пересеченная местность затрудняют ходьбу. Мало вероятно, чтобы в условиях пустыни человек мог ходить достаточно быстро и тратить меньше 175 ккал/м²/час. Поскольку линия напряжений М (см. фиг. 105) примерно соответствует дегидратации, равной 10% веса тела, нужно считать, что предельный водный дефицит для человека, идущего по пустыне в прохладные ночные часы, равен 10% его веса. Этот вывод покоится на достаточно большом опыте работы в полевых условиях, что гарантирует его использование в качестве вполне достоверного приближения.

Синдром дегидратационного истощения

Чувство неопределевного недомогания и теплового угнетения. Эти симптомы связаны с возрастающим напряжением системы кровообращения. Те же самые ощущения проявляются у плохо переносящих жару людей и в умеренном климате в жаркие, душные, летние дни. Плохо переносящие жару городские жители могут облегчить свое состояние, перейдя в помещение с кондиционированным воздухом или приняв прохладную ванну. В пустыне, где акклиматизировавшиеся люди с нормальным водным балансом обычно хорошо переносят жару, дегидратация может настолько понизить компенсаторные возможности кровеносной системы, что как акклиматизировавшиеся, так и вновь прибывшие в пустыню люди в равной мере чувствуют себя больными.

Беспокойное состояние и сонливость. Эти симптомы, сопровождающие слабую дегидратацию, кажутся взаимноисключающими друг друга. Однако они могут появляться (хотя и не обязательно одновременно) у одного и того же человека. Хорошо известно, что физические упражнения ускоряют обратный ток крови к сердцу. Поскольку при обезвоживании организма ток венозной крови к сердцу явно недостаточен, совершенно очевидна польза мышечных движений; поэтому возможно, что это беспокойное состояние имеет рефлекторное происхождение.

Желание сесть или лечь. Эта потребность объясняется реакцией на повышение напряжения кровеносной системы. Работа, выполняемая сердцем, увеличивается тем меньше, чем ближе положение

тела к горизонтальному. Замедление частоты пульса у лежащего человека показывает, насколько уменьшается эта нагрузка при устранении гидростатического действия, оказываемого на циркуляцию крови вертикальным положением.

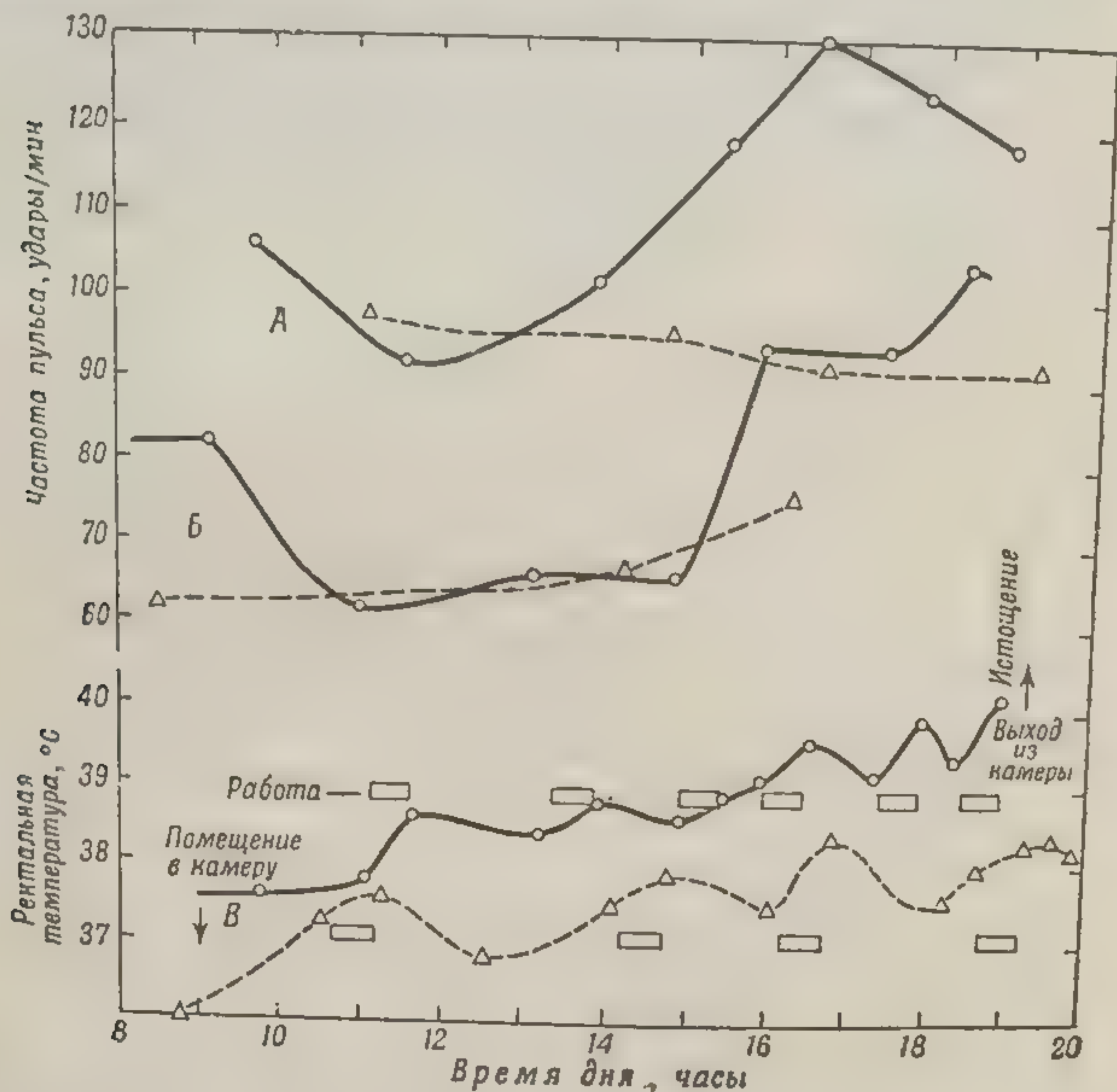
Мышечное утомление. Это ощущение также свидетельствует о недостаточности кровообращения, так как содержание сахара в крови не понижается, а выполняемая работа не может (без дегидратации) вызвать подобные симптомы. Быстрота частичного восстановления при насыщении организма водой может дать возможность использовать дегидратацию в дальнейших исследованиях ощущения утомления.

Повышение температуры тела. Этот признак, связанный с дегидратацией, свидетельствует о недостаточности кровообращения. У людей, находящихся в состоянии дегидратации, максимальная возможность потоотделения значительно превышает фактическую. Циркулирующая кровь не переносит к периферии такого количества тепла, которое бы обеспечило нужную теплоотдачу, несмотря на то, что еще возможно дальнейшее и значительно большее учащение пульса, а следовательно, и гораздо более быстрый ток крови. Повидимому, организм человека лучше выдерживает повышенную тепловую нагрузку, чем дальнейшее напряжение кровеносной системы.

Учащение пульса. Частота пульса служила нам надежным показателем степени напряжения кровеносной системы. Выше мы уже рассматривали роль кровообращения в учащении пульса при водном дефиците. Однако не следует думать, что в большинстве случаев при состоянии истощения частота пульса достигает своего верхнего предела. Напротив (фиг. 110), как правило, нет никаких указаний на то, что частота пульса или ректальная температура достигли своего предела.

Покалывание в мышцах конечностей. Это ощущение, на которое жаловались некоторые испытуемые, находившиеся в состоянии сильной дегидратации, является признаком акапнии (уменьшение содержания углекислого газа). Экспериментальная гипервентиляция также вызывает акапнию и такое же чувство покалывания в мышцах ног и рук, которое спонтанно возникает при обезвоживании организма. У испытуемых, находившихся в состоянии дегидратации в условиях высокой температуры, мы часто наблюдали одышку. Испытуемые, жаловавшиеся на ощущение покалываний в конечностях, иногда страдали от сильной одышки, хотя на фоне плохого общего состояния последняя и могла остаться незамеченной.

В пустыне мы не определяли у испытуемых, находящихся в состоянии дегидратации, ни объема легочной вентиляции, ни концентрации углекислого газа в крови или альвеолярном воздухе; однако при проведении экспериментов с дегидратационным истощением в лабораторных условиях мы исследовали большое число случаев

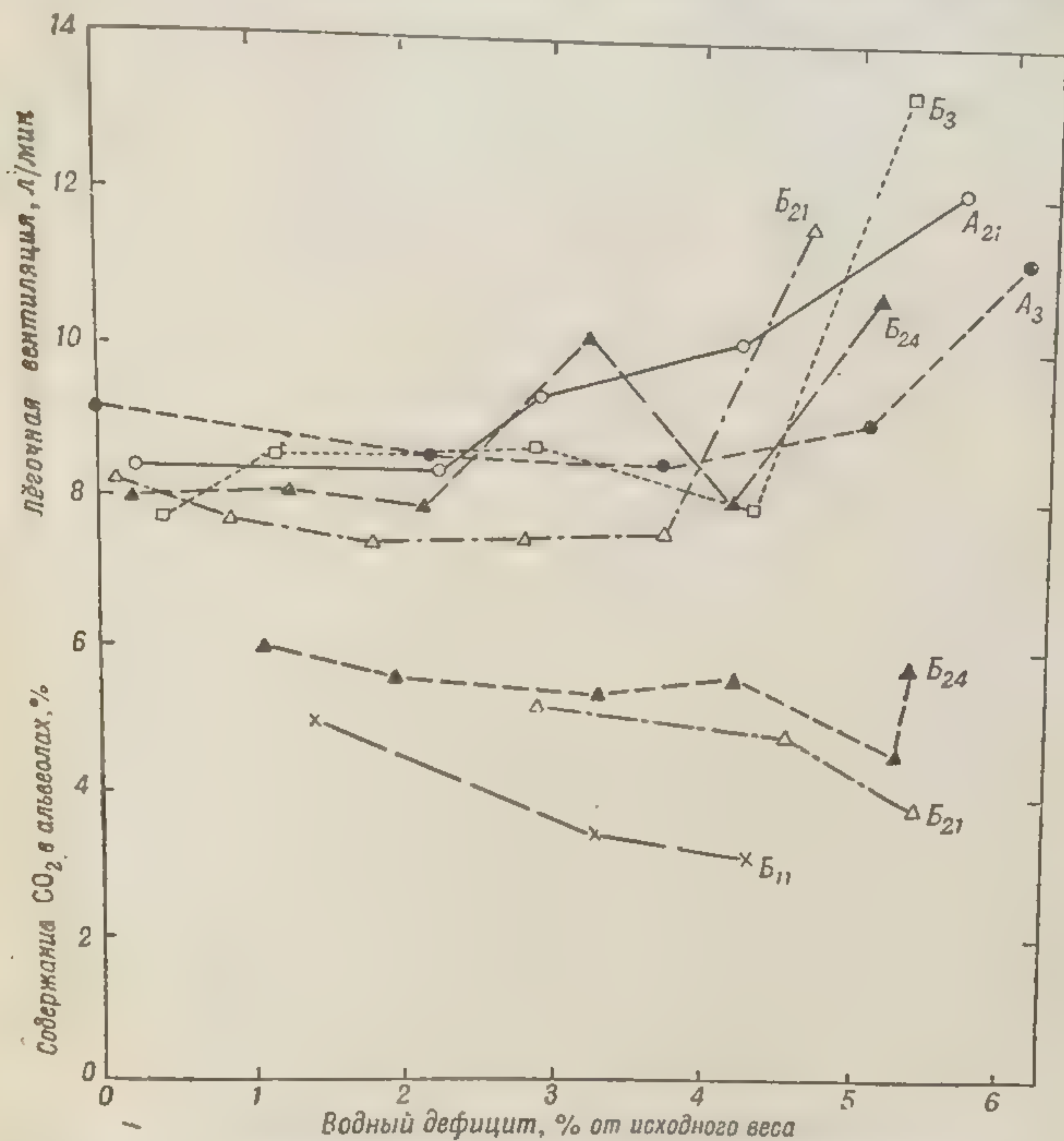


Фиг. 110. Частота пульса и ректальная температура у испытуемого, подвергнувшегося обезвоживанию в тепловой камере в течение двух последовательных дней. Пунктирные линии — данные за 1-й день; сплошные линии — данные за 2-й день; А — частота пульса во время работы; Б — частота пульса во время покоя; В — ректальная температура.

спонтанной гипервентиляции. Мы определяли скорость вентиляции у 5 испытуемых, сидящих в спокойном положении, через 5—6 равных интервалов времени. Всего было проведено 20 опытов при температуре воздуха $48,8^{\circ}$. Наиболее удобным оказался простой метод подвода вдыхаемого воздуха из сухого газометра ко рту через клапаны. В 6 определениях объем легочной вентиляции увеличивался, причем это наблюдалось только у 2 из 5 испытуемых субъектов. В то же самое время частота дыхания возрастала. У 1 испытуемого субъекта увеличение вентиляции обнаружилось во всех 4 экспериментах, в которых он участвовал; у другого — в 2 экспериментах

Фиг. 111. Соотношение содержания газа в альвеолах А и Б (цифры) и скорости вентиляции В (цифры) в камере в процессе эксперимента. Увеличивалась скорость вентиляции, что привело к увеличению содержания газа в альвеолах. Когда достигалась определенная степень охлаждения.

из четырех. Во всех 20 опытах за испытуемыми велось наблюдение до тех пор, пока их водный дефицит не достигал 5—6% исходного веса тела. Из 6 экспериментов, в которых скорость вентиляции



Фиг. 111. Соотношение между вентиляцией, содержанием углекислого газа в альвеолярном воздухе и потерей веса тела у двух испытуемых А и Б (цифры обозначают номер опыта). В эксперименте, по данным которого построена кривая B_{24} , при переходе испытуемого из тепловой камеры в помещение с более низкой температурой содержание в альвеолярном воздухе CO_2 вернулось к норме.

увеличивалась, 5 изображены на фиг. 111. Характерно, что скорость вентиляции не менялась до тех пор, пока дефицит воды в организме не превышал 4% веса тела. Следовательно, гипервентиляция возникает под влиянием высокой температуры воздуха и дегидратации. Когда же испытуемый с явлениями одышки в достаточной степени охлаждался, но не пил воды, гипервентиляция прекращалась.

В 20 других экспериментах объем легочной вентиляции измерялся на тех же самых 5 испытуемых, находившихся при температуре $48,8^{\circ}$, но обладавших нормальным водным балансом. Ни у одного из испытуемых объем вентиляции заметно не увеличился на протяжении всей экспозиции. В трех случаях из четырех, когда испытуемый Б. оказался в состоянии дегидратации, были исследованы пробы альвеолярного воздуха. Концентрация в нем углекислого газа — чувствительный индикатор нарушения процесса дыхания — уменьшалась, но только после того как достигался 4-процентный водный дефицит. У другого испытуемого субъекта наблюдалась гипервентиляция, но не было обнаружено уменьшения парциального давления углекислого газа. Одышка не обнаруживалась до тех пор, пока объем вентиляции не увеличился больше чем на 50%.

Таким образом, полученные результаты показывают, что у людей, акклиматизировавшихся к жаре, гипервентиляция часто сопровождает сильную дегидратацию, а у неакклиматизировавшихся людей — появляется под влиянием высокой температуры воздуха даже при нормальном водном балансе. Однако нельзя рассчитывать на обязательное появление этого признака при дегидратации. По всей вероятности, дефицит воды в организме, следствием которого является нарушение кровообращения, ведет к местной аноксии, особенно в области головы. Цианоз, часто наблюдаемый у испытуемых, находящихся в состоянии дегидратации, подкрепляет это предположение. Однако если причиной этого явления можно считать аноксию, то, очевидно, она наблюдается не во всей циркулирующей крови, ибо пробы венозной крови, бравшиеся во время дегидратации, были яркокрасного цвета. Много фактов еще следует выяснить, прежде чем мы сможем определить причину возникновения дегидратационной акапнии.

Последствия дегидратационного истощения

В тех случаях, когда людям, находящимся в состоянии тяжелой дегидратации, давали возможность пить без ограничения, они обычно выпивали большое количество воды. Некоторые выпивали по 2 л воды меньше чем за 10 мин. Если насыщение организма водой продолжалось в течение получаса, то возмещалось до 50—80% образовавшегося дефицита (см. главу XVI).

Нередко к людям, теряющим аппетит во время дегидратации (анорексия), он возвращался, когда организм их вновь частично насыщался водой. И наоборот, до принятия пищи люди никогда не выпивали такого количества воды, которого было бы достаточно для возмещения ее потери.

Некоторые испытуемые вначале выпивали очень мало воды и, повидимому, вообще не хотели пить; они утверждали, что во время

дегидратации жажда никогда не причиняла им серьезных неприятностей. Как правило, когда испытуемый, подвергшийся эксперименту с обезвоживанием организма, получал возможность действовать сообразно своим желаниям, его исходный вес восстанавливался после ночного сна и одного-двух приемов пищи.

Мы не наблюдали никакого явного последствия дегидратации, тем не менее испытуемые неохотно соглашались на экспериментальную дегидратацию в течение нескольких дней подряд; кроме того, возможно, что некоторые неожиданные случаи плохой выносливости, отмеченные среди лабораторного персонала, подвергнувшегося повторным дегидратациям, каким-то образом связаны со слишком частым вызыванием водного дефицита.

Возможно, что резко выраженные последствия возникают после более сильных дегидратаций, чем те, которые мы наблюдали. Известно, что при сильном водном дефиците, человек не в состоянии ни ходить, ни сидеть; однако эта способность восстанавливается уже через несколько минут после приема воды, а хорошее самочувствие — через полчаса или даже скорее. Если же человек еще в промежутке принимает один или два раза пищу, то восстановление после дегидратации практически полностью заканчивается в течение 6—12 час.

ЛИТЕРАТУРА

1. Robinson S., Turell E. S., Gerking S. D., *Am. J. Physiol.*, 143, 21 (1945).

Глава XIV

ПРИЗНАКИ И СИМПТОМЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОРГАНИЗМА В ПУСТЫНЕ

Эта глава посвящена обзору всех изменений, наблюдаемых у людей, находящихся в состоянии обезвоживания в пустыне. Каждое изменение проявляется при той или иной степени водного дефицита. Некоторые из этих изменений ограничивают физическую активность человека. Располагая все известные симптомы и изменения по шкале, на которой нанесены разные степени дегидратации, можно составить себе примерное представление о водном дефиците организма на основании признаков, наблюдаемых в каждом конкретном случае.

Таким образом, излагаемый здесь материал может быть использован как для предупреждения дегидратации, так и для ее диагноза и прогноза. Он поможет также рассеять страх людей перед дегидратацией, так как симптомы, которые, согласно шкале, наступают при дефиците веса тела менее 10%, неопасны и большинство их исчезает в течение 1 часа после приема достаточного количества воды.

Качественные признаки. Находившиеся под нашим наблюдением люди подвергались дегидратации во время ходьбы в пустыне, причем они воздерживались от питья. В результате непрерывного потоотделения растрачивались запасы воды в организме. Наступающий, таким образом, водный дефицит определялся по падению веса тела и выражался в процентах от исходного веса тела. Наблюдатели ходили вместе с солдатами и являлись также испытуемыми. Каждый час наблюдатели отмечали внешний вид солдат, их замечания и жалобы. Когда люди выбывали из строя, так как не были в состоянии ходить, записывались их наиболее важные замечания, однако наблюдатели не обращались к ним с такими вопросами, которые могли бы усугубить тревожные симптомы (о применявшемся при этом вопроснике см. табл. 38). Хотя полученные таким образом материалы не являются исчерпывающими, они тем не менее могут служить путеводной нитью для критического анализа синдрома дегидратации.

В настоящее время нам известно, при каком дефиците веса тела возникают, например, такие симптомы, как одышка или головокружение, причем мы отмечали тот минимальный дефицит, при

ДАННЫЕ ЕЖ

Температура во
Покраснение ли
Видимый пот на
Спотыкающаяся
Вялая походка

Апатия { 0—
1—
2—
3—

Словесны жал
Остановившийся
Затрудненная р
Одышка
Цианоз
Обморок

Покалывание .
Головокружение
Мышечные боли
Боли или спазм
Боли в ногах
Головная боль
Жажда (0—3)
Отсутствие слю

Отек рук . . .
Тошнота
Голод
Сильная сонлив
Слабость в ног
Предпочитает л
Тепловое угнет
Другие замеча

котором появ
мы отмечали
ния тех или
Однако точн
многие при
и указанная
зительной (с

Ясно, что
ной степени
ко в отноше
наиболее ра
частично об
но бо́льшая

Таблица 38

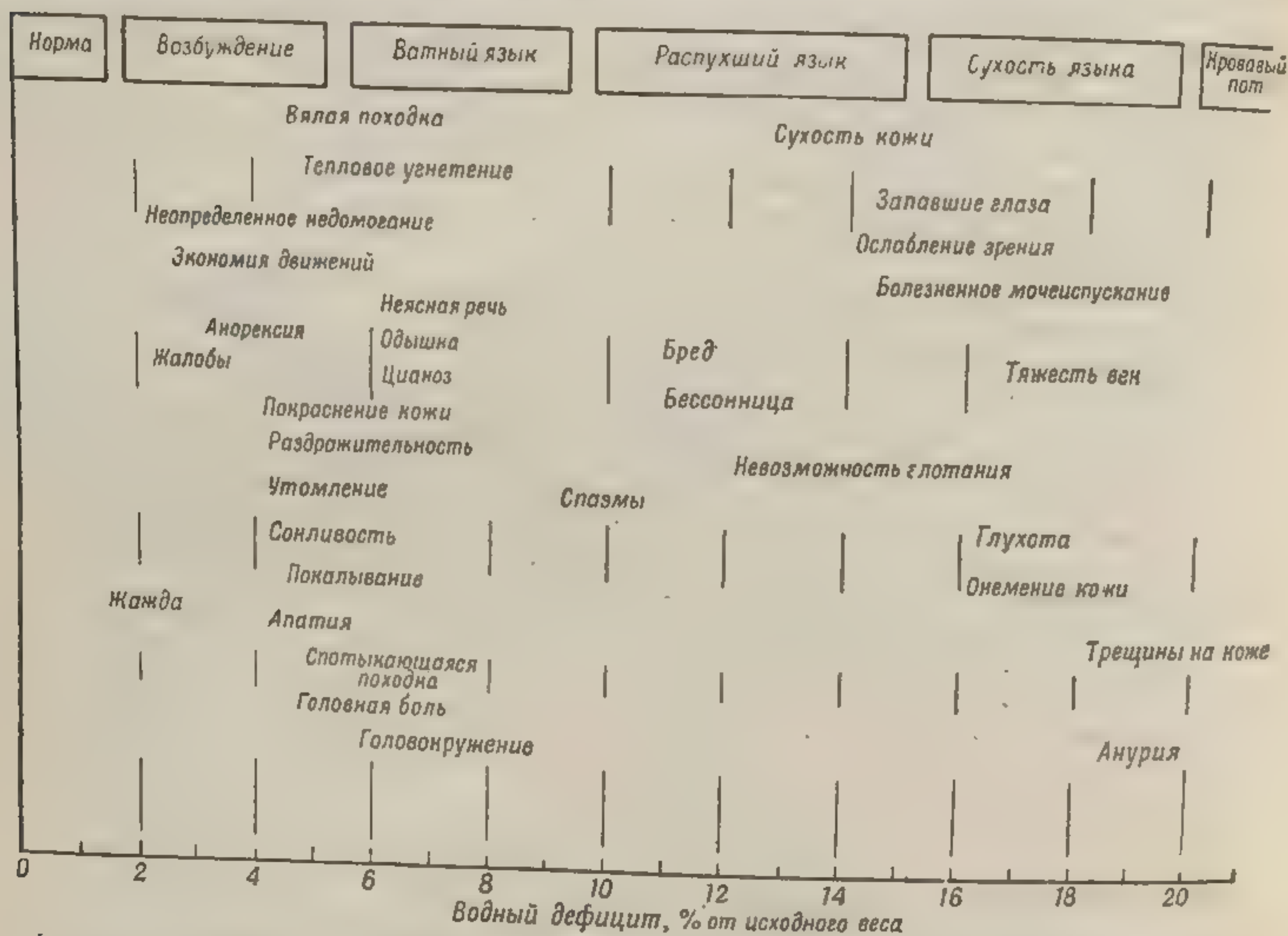
ДАННЫЕ ЕЖЕЧАСНОГО ОПРОСА И НАБЛЮДЕНИЙ НАД ИСПЫТУЕМЫМ X
(9 июля 1943 г.)

Время	12 час. 22 мин.	13 час. 50 мин.
Температура воздуха		
Покраснение лица (0—3)	1	1
Видимый пот на лице, руках и одежде	Нет	1
Спотыкающаяся походка		
Вялая походка	0	
Апатия { 0—хорошее состояние		1
1—еще разговорчив		
2—необщителен		
3—сильно угнетен		
Словесны жалобы		
Остановившийся взгляд		+
Затрудненная речь		++
Одышка		
Цианоз		
Обморок		
Покалывание		
Головокружение в вертикальном положении		
Мышечные боли		
Боли или спазмы в кишечнике		
Боли в ногах		
Головная боль	+	+
Жажда (0—3)		3
Отсутствие слюноотделения		
Отек рук		
Тошнота		
Голод		Нет
Сильная сонливость	+	
Слабость в ногах	+	
Предпочитает лежать		
Тепловое угнетение		
Другие замечания	Горит лицо	

котором появляется тот или другой симптом дегидратации. Наконец, мы отмечали частоту симптомов, т. е. количество случаев появления тех или иных симптомов при каждом проценте дегидратации. Однако точность полученных нами данных относительна, так как многие признаки установлены в результате менее 5 наблюдений, и указанная нами частота распределения является только приближительной (фиг. 112).

Ясно, что один и тот же признак может появиться при различной степени дегидратации: данный признак не стандартен не только в отношении его постоянства у одного лица, но и в отношении наиболее раннего времени его появления. Эти колебания можно частично объяснить разпой степенью акклиматизации испытуемых, но большая часть их зависит от индивидуальных различий. Кроме

того, неоднозначность наших результатов объясняется невозможностью сохранения подходящих условий при проведении наблюдений в полевой обстановке. Последовательность появления признаков и симптомов дегидратации (см. фиг. 112) особенно характерна. Жажда отмечается очень рано, но интенсивность ее возрастает по мере увеличения водного дефицита лишь незначительно. Чувство неопределенного недомогания, не испытываемое контрольными



Фиг. 112. Признаки и симптомы, характеризующие состояние обезвоживания, наступающего в условиях пустыни. Признаки расположены таким образом, что соответствующие им цифры, отложенные по абсциссе, показывают степень водного дефицита, при которой они обычно проявляются впервые. Пять стадий состояния обезвоживания, помещенные в рамках наверху, взяты из данных Мак Ин [1].

лицами, получающими воду, постепенно проявляется в виде покраснения лица, теплового угнетения, утомления, сонливости, раздражительности, головокружения и отсутствия аппетита. Приблизительно в то время, когда сохранение нормальной ходьбы становится невозможным, появляются одышка, ощущение покалывания и цианоз, а также признаки тетании. Еще позже человек не может без посторонней помощи держаться на ногах из-за нарушения координации движения или наступления обморочного состояния.

Признаки, характерные для водного дефицита, превышающего 10% веса тела, нам известны лишь из сообщений людей, оказав-

шихся в пустыне. В пустыне, в условиях крайнего бесплодия, язык растрескивается и делается правилом, наступлением и, в результате, появляются неопределенные признаки. Не ясно, лежит ли это на поверхности, многие люди, находясь в состоянии обезвоживания, испытывают трудности в передвижении. Водный дефицит, достигающий этой степени, приводит к смерти. Большинство людей, находящихся в пустыне, еще не достигли этой стадии обезвоживания.

Большинству людей, находящихся в пустыне, еще не удалось достичь этой стадии обезвоживания. В пустыне, в условиях крайнего бесплодия, язык растрескивается и делается правилом, наступлением и, в результате, появляются неопределенные признаки. Не ясно, лежит ли это на поверхности, многие люди, находясь в состоянии обезвоживания, испытывают трудности в передвижении. Водный дефицит, достигающий этой степени, приводит к смерти. Большинство людей, находящихся в пустыне, еще не достигли этой стадии обезвоживания.

Кроме регистрации количества воды, выпитой людьми, находящимися в пустыне, еще не было установлено, насколько велик дефицит воды, вызывающий смерть. Известно, что люди, находясь в пустыне, испытывают трудности в передвижении. Водный дефицит, достигающий этой степени, приводит к смерти. Большинство людей, находящихся в пустыне, еще не достигли этой стадии обезвоживания.

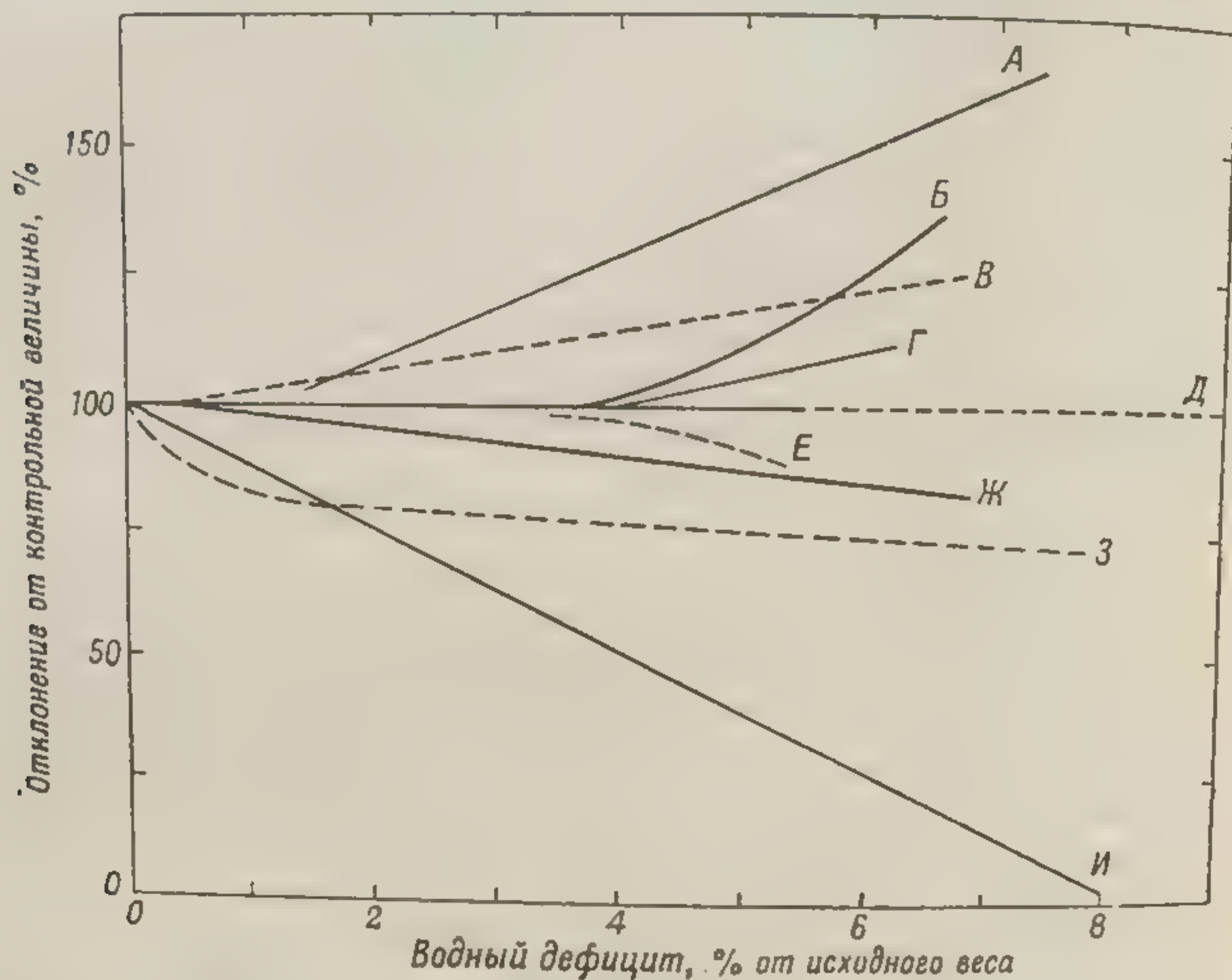
шихся в пустыне без воды. Кинг [2] собрал свои данные в кавалерийском отряде, а Мак Ги использовал отчеты разных путешественников по пустыне (фиг. 112). В таких случаях людьми может овладеть крайнее беспокойство, сопровождаемое бредом и состоянием истерии. Язык распухает, глотание становится невозможным, и слизистая рта полностью теряет чувствительность. Кожа сморщивается и делается дряблой, глаза западают, зрение слабеет, и, как правило, наступает понижение слуха. Мочеиспускание очень болезненно и, вероятно, сопровождается анурией. На опеченной коже появляются кровооточающие трещины. Повидимому, эта стадия является необратимой, и восстановление после нее невозможно. Не ясно, лежит ли летальная точка около 15 или 25% водного дефицита; многое зависит от температуры воздуха, продолжительности пребывания на солнцепеке и скорости обезвоживания организма. Затрудненность глотания, наблюдаемая при 12-процентном водном дефиците, указывает на то, что данный человек не может оправиться без постороннего вмешательства. Если дегидратация достигает этой стадии, то жидкость следует вводить внутривенно, внутривентально, зондом или через прямую кишку.

Большинству из вышеперечисленных симптомов в настоящее время еще нельзя дать количественного определения. В полевой обстановке, где трудно пользоваться приборами, приходится ограничиваться качественными наблюдениями. Это имеет, однако, то преимущество, что каждый может на основании сравнительных наблюдений быстро установить степень водного дефицита у данного лица. Стадии дегидратации, описанные Мак Ги, могут быть приблизительно установлены и по нашей шкале симптомов дегидратации. С достаточной точностью можно считать, что каждая из стадий, описанных Мак Ги, — возбуждение, «ватный язык», распухший язык, сухость языка, кровавый пот, — соответствует изменению водного дефицита приблизительно на 5%. По нашим наблюдениям, стадия «ватного языка» обычно заканчивается истощением.

Количественные показатели

Кроме регистрации качественно различных признаков, мы производили количественное изучение ряда функций. Большинство данных было уже проанализировано в предыдущих главах; здесь мы лишь рассмотрим средние итоговые результаты, а также корреляцию между изменением отдельных функций и степенью водного дефицита (фиг. 113). Для удобства мы принимали исходное состояние каждого лица с нормальным водным балансом за 100%. Испытуемый подвергался действию высокой температуры, сразу же вызывающей потоотделение, причем ему разрешалось пить воду. Затем его лишали питьевой воды (потоотделение продолжалось) и периодически производили измерения.

Частота пульса является чувствительным показателем дегидратации, независимо от того, определяют ли ее в стоячем положении, во время ходьбы, в первую минуту после прекращения ходьбы или



Фиг. 113. Зависимость между разными количественными показателями и водным дефицитом. Все линии построены на основании средних из данных, полученных в лабораторных условиях, однако большинство признаков исследовалось в полевых условиях. А — частота пульса в стоячем положении; Б — вентиляция (общий газообмен в сидячем положении); В — ректальная температура (нанесена с таким расчетом, что повышение на $0,5^{\circ}$ соответствует 7-процентному повышению по ординате); Г — частота пульса в лежащем положении; Д — потребление кислорода; Е — содержание CO_2 в альвеолярном воздухе; Ж — объем плазмы крови; З — мочеотделение; И — слюноотделение.

в любое время отдыха после физического напряжения. В лежащем или сидячем положении частота пульса начинает ускоряться лишь тогда, когда потеря веса тела достигает 4%. С каждым килограммом водного дефицита пульс учащается меньше в сидячем или лежащем положении, чем в вертикальном; последнее настолько обременяет кровообращение, что пульс ускоряется даже при умеренном водном дефиците.

Ректальная температура при 6-процентном дефиците даже в сидячем положении повышается на 2° . Это говорит об ослабевшей реакции организма на потребность в выделении излишнего тепла. Легочная вентиляция (т. е. объем воздуха, выдыхаемого в единицу времени) повышается только при достижении 4-процентного водного

дефицита, ците. В ко метной, про но возраста роль в уси Парциат пропорцион

Испытуемый

А
(вес тела 65,5 к
поверхность
тела $1,82 \text{ м}^2$)

Б
(вес тела 71,5 к
поверхность
тела $1,86 \text{ м}^2$)

В1

1 Первое оп без воды, второе равном $1,8''$, вес 17 Э Адольф

дефицита, а у некоторых — лишь при 6—8-процентном дефиците. В конечном итоге, гипервентиляция легких становится заметной; проявляясь в виде одышки. Частота дыхания соответственно возрастает, и, таким образом, глубина и частота дыхания играют роль в усилении вентиляции легких.

Парциальное давление углекислоты в альвеолах уменьшается пропорционально усилению вентиляции. Это уменьшение является

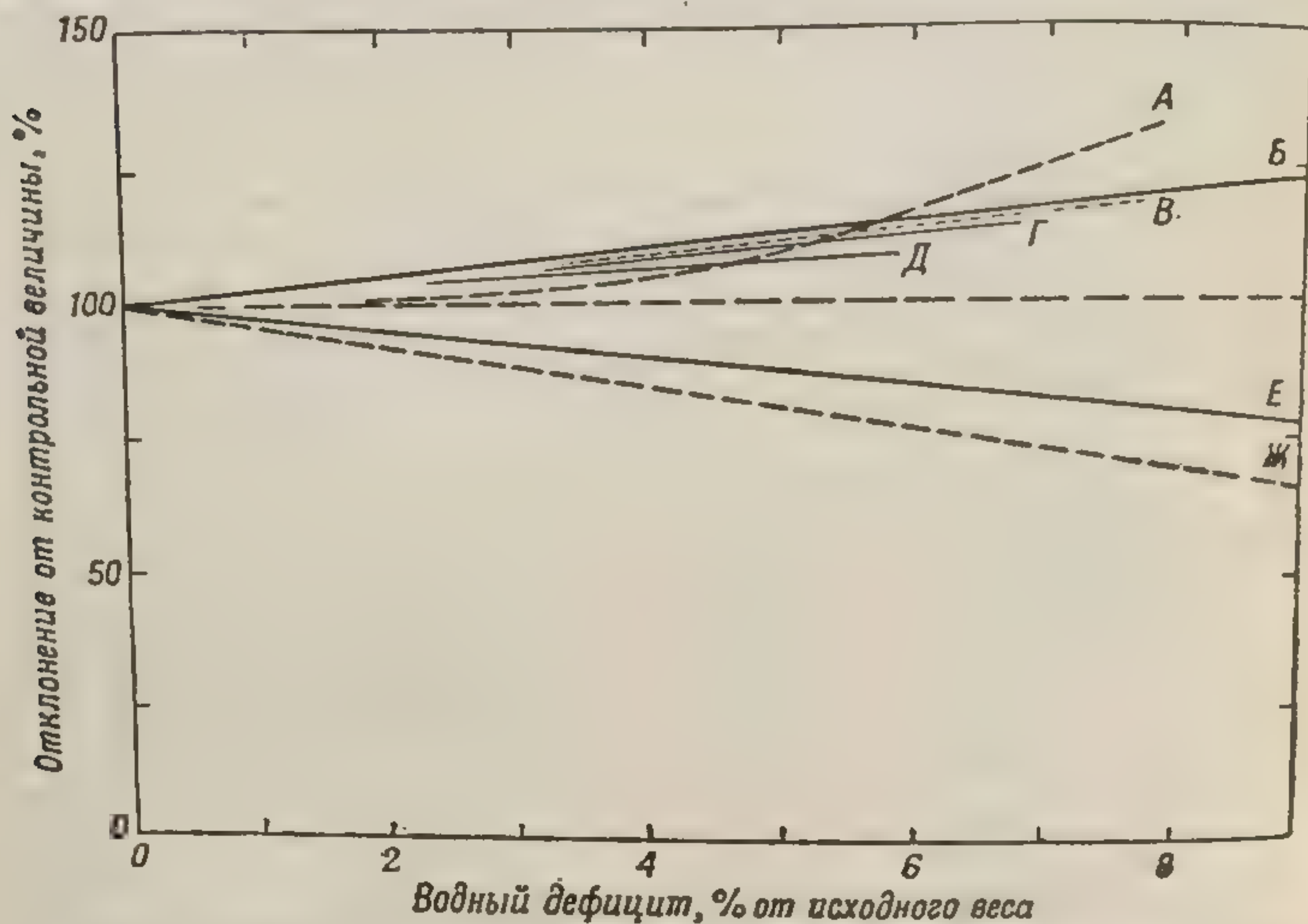
Таблица 39

ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА ПРИ ВОДНОМ ДЕФИЦИТЕ

Испытуемый	Дата	Работа, кгм мин	Водный дефицит, % от веса тела	Потребление кислорода, л/мин	Среднее и стандартное отклонения	Дыхательный коэффициент	Температура воздуха, °C
А (вес тела 65,5 кг, поверхность тела 1,82 м²)	27.IV	В покое (сидя)	2,6	0,27	1,16 ± 0,08	0,59	50
	30.IV	390	0,0	1,28		0,73	25
	25.IV	390	0,0	1,13		0,71	26,6
	25.IV	390	0,0	1,13		1,10	27,2
	14.IV	390	2,0	1,06		0,61	26,6
	14.IV	390	2,8	1,11		0,86	27,7
	27.IV	390	4,8	1,25		0,74	48,8
	30.IV	620	0,0	1,85	1,74 ± 0,08	0,94	25,5
	25.IV	620	0,0	1,71		0,99	26,6
	25.IV	620	0,0	1,72		0,89	26,6
	29.IV	620	0,0	1,63		0,89	50,5
	14.IV	620	2,3	1,69		0,90	27,7
	14.IV	620	2,6	1,82		0,95	26,6
Б (вес тела 71,5 кг, поверхность тела 1,86 м²)	27.IV	В покое (сидя)	3,4	0,36	1,38 ± 0,11	0,81	50
	30.IV	505	0,0	1,45		0,90	25
	25.IV	505	0,0	1,38		0,70	26,6
	25.IV	505	0,0	1,58		0,83	26,6
	29.IV	505	0,0	1,37		0,94	50
	12.IV	505	1,7	1,21		0,92	50
	12.IV	505	4,1	1,26		0,80	39,4
	12.IV	505	5,4	1,41		0,77	40,0
	30.IV	690	0,0	2,11	1,79 ± 0,16	0,88	25,5
	25.IV	690	0,0	1,90		0,89	26,6
	25.IV	690	0,0	1,72		0,96	26,6
	29.IV	690	0,0	1,81		0,97	50,5
	12.IV	690	0,3	1,63		0,84	51,1
	12.IV	690	2,8	1,67		0,82	49,4
В¹	2.VIII	В покое (лежа)	5,1	0,29		0,70	37,2
	2.VIII		3,6	0,28		0,78	36,6

¹ Первое определение сделано через 45 мин. после 4-часовой ходьбы в пустыне без воды, второе — на 35 мин. позже, после приема воды при 37,8° в количестве, равном 1,8% веса тела.

следствием учащенного дыхания, так как из-за ускоренного обмена воздуха из организма выводится большее количество углекислоты. Грубо говоря, пониженное парциальное давление углекислоты указывает на то, что в данных условиях дыхание регулируется не количеством углекислоты, а некоторыми другими факторами.



Фиг. 114. Зависимость между показателями крови и водным дефицитом. Каждая линия — среднее из данных, приведенных в тексте. А — содержание сахара в крови; Б — общая концентрация сыворотки; В — концентрация небелкового азота; Г — концентрация хлоридов; Д — показания гематокрита; Е — объем плазмы; Ж — «объем крови.»

Между тем потребление кислорода (табл. 39), определяемое в разных условиях (в сидячем положении или во время работы на эргометрическом велосипеде), заметно не изменяется.

Распределение кислорода в тканях при водном дефиците может несколько замедляться или происходить под пониженным парциальным давлением, но в количественном отношении потребление кислорода остается неизменным. Наше заключение подтверждается только в широких пределах стандартных отклонений в разных сериях экспериментов. Наши данные указывают на то, что температура воздуха не влияет на потребление кислорода, хотя специальных исследований по этому поводу мы не проводили. Известно [3], что потребление кислорода увеличивается с повышением температуры воздуха; пределы эффективных температур в наших исследованиях были слишком ограничены, чтобы можно было иллюстрировать этот факт.

Объем
краски) у
новить, пр
оно водн
воротки о
возрастает
(фиг. 114).
мя как те
Приблизит
оно показ
непропорц
поправку н
то отношен
и объем кр
щей крови,
воображен
гидратацион
ного снабже
понентов пл
концентрац
некоторого
Все эти фак
объема кров
как количес
Мочеотделен
тельно. Чел
меньше мочи
теющий. Пос
ких пределах
по объему вы
ции, больше
повидимому,
почек не мо
Давно уж
водным дефи
нально водн
8% веса тела
ся слюна.
Образова
всех известн
лось, то наст
сохранило бы
должна была
возможности
Из исслед
ионально во
17*

Объем циркулирующей плазмы (определяемый путем введения краски) уменьшается. Однако этот метод не дает возможности установить, прогрессирует ли это уменьшение и пропорционально ли оно водному дефициту. Общая же величина сухого остатка сывортки определялась с большой точностью; оказалось, что она возрастает строго пропорционально дефициту воды в организме (фиг. 114). Наиболее интересным является тот факт, что, в то время как тело теряет 6% своего веса, плазма теряет 15% объема. Приблизительное отношение 5 : 2 характерно для всех испытуемых; оно показывает, что при обезвоживании организма плазма теряет непропорционально большое количество воды. Даже если сделать поправку на содержание твердых веществ в плазме и в тканях тела, то отношение остается не меньше 4 : 2. Кроме того, уменьшается и объем кровяных телец, так что уменьшение объема циркулирующей крови, в общем, довольно значительно. В конечном итоге, кровообращение сильно нарушается, и поэтому многие признаки дегидратационного синдрома могут быть отнесены за счет недостаточного снабжения организма кровью. Концентрация отдельных компонентов плазмы возрастает пропорционально увеличению общей концентрации. Это относится даже к хлоридам (несмотря на потерю некоторого количества соли с потом) и небелковому азоту плазмы. Все эти факты с очевидностью указывают на то, что в уменьшении объема крови потеря воды играет первостепенную роль, между тем как количество неводных ингредиентов в крови почти не меняется. Мочеотделение при водном дефиците уменьшается лишь незначительно. Человек, постоянно потеющий, выделяет значительно меньше мочи, чем человек, живущий в умеренном климате и не потеющий. Поскольку мочеотделение остается минимальным в широких пределах дегидратации, о степени дегидратации нельзя судить по объему выделяемой мочи. Однако в крайней степени дегидратации, большей, чем наблюдаемая нами, может наступить анурия: повидимому, кровообращение нарушается настолько, что функция почек не может оставаться нормальной.

Давно уже установлено, что слюноотделение коррелировано с водным дефицитом. Мы нашли, что оно уменьшается пропорционально водному дефициту до тех пор, пока последний не достигнет 8% веса тела. При таком дефиците у человека перестает выделяться слюна.

Образование пота у большинства людей не прекращается при всех известных степенях водного дефицита. Если бы оно прекратилось, то наступил бы тепловой удар. Прекращение потоотделения сохранило бы в организме воду, но аккумуляция внутреннего тепла должна была привести человека к смерти, если бы только не было возможности отдавать тепло и без испарения пота.

Из исследованных нами функций многие изменяются пропорционально водному дефициту; другие, например легочная венти-

ляция, частота пульса в горизонтальном положении и концентрация сахара в крови изменяются лишь по достижении определенного порога дегидратации: ниже него не обнаруживалось никакого влияния дегидратации, а выше порога наблюдались некоторые новые явления. Последняя группа функций и обуславливает появление характерных клинических симптомов.

В наш перечень можно внести еще много других функций. Каждая из них способствует более полному описанию физиологического состояния дегидратации. С другой стороны, ряд функций (табл. 40)

Таблица 40

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, НЕ ЗАВИСЯЩИЕ ОТ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА

Физиологический процесс	Число определе- ний	Число дней	Число испытуе- мых	Крайняя сте- пень водного дефицита, % от веса тела
Потребление кислорода	13	6	2	5,4
Дыхательный коэффициент	13	6	2	5,4
Мышечная активность	11	5	2	5,4
Скорость темновой адаптации	4	4	4	5,5
Острота зрения	9	2	3	7,0
Площадь поля цветового зрения	6	1	2	4,2
Острота слуха	7	3	4	6,4
Верхний порог воспринимаемых звуков	4	2	2	6,0
Артериальное давление	42	2	6	9,0
Венозное давление	70	6	4	6,6
Величина потоотделения, равная потере воды путем испарения	190	40	42	11,0

заметно не меняется при дегидратации (при наблюдавшихся нами степенях последней); к таким относятся, например, систолическое и диастолическое артериальное давление, острота зрения, поле зрения, быстрота темновой адаптации, величина неощутимой потери воды, появление полиурии при избытке в организме экскретируемых веществ и некоторые другие. Наши цифровые данные являются итогом большого числа наблюдений и дают представление об уровне современных знаний о дегидратации у человека. На основании их можно составить представление об изменениях всех систем организма человека при дегидратации.

Обсуждение

Следует подчеркнуть, что мы не проводили различия между признаком и симптомом и в одинаковой мере учитывали как объективные, так и субъективные показания; точно так же мы не делали различия между качественными и количественными данными.

Последние только труднее получить, чем первые; но, получив их, мы использовали и те и другие в целях полного описания физиологического состояния человека при дегидратации.

Судя по полученным нами данным, большинство изменений, происходящих в организме человека, находящегося в состоянии дегидратации, обусловлено нарушениями кровообращения, вследствие того, что вода, входящая в состав крови, тратится на образование пота. Несмотря на то, что некоторая часть израсходованной таким образом воды замещается жидкостью, поступающей из тканей, кровь теряет воды больше, чем большинство других тканей. Для нормального кровообращения необходим полный объем крови; это особенно важно в условиях пустыни, так как продуцируемые в организме тепло и вода должны транспортироваться к коже, где образуется и испаряется пот. Поэтому в пустыне кровь притекает к поверхностным тканям организма быстрее обычного; однако считается, что в то же самое время она притекает почти в обычном объеме и к остальным тканям тела.

Ускорение пульса указывает на напряжение системы кровообращения. Нарушение циркуляции особенно резко выражено на периферии, возможно, вследствие уменьшения общего объема крови. Расширенные сосуды кожи требуют дополнительного количества крови для своего наполнения; одновременно ослабляются компенсаторные механизмы, обеспечивающие сохранение вертикального положения, ибо кровеносные сосуды ног должны, с одной стороны, расширяться для переноса согретой крови, а, с другой стороны, суживаться для сохранения большего притока крови к голове.

Голова и ее сосудистые рецепторы недостаточно снабжаются кровью, и учащенное дыхание, наблюдаемое в это время, можно расценивать как результат частичной ишемии хеморецепторов. Далее, гипервентиляция легких приводит к понижению парциального давления углекислоты во всех тканях и к сопутствующим ему симптомам начинающейся тетании. Все это может обусловить развитие полного синдрома акапнии. При сравнении двух явлений, гипервентиляции и дегидратации, видно, что субъективные ощущения при обоих истощениях одинаковы.

Мочеотделение при дегидратации минимально, так как выделяется только количество воды, необходимое для растворения выводимых твердых веществ. Слюноотделение уменьшается, что, очевидно, указывает на подавление образования слюны по мере повышения концентрации плазмы.

Неспособность к продолжению мышечной работы (истощение) является, повидимому, следствием недостаточности кровообращения. Движения, производимые при работе, до некоторой степени помогают обратному току крови к сердцу, но когда они прекращаются, нарушение кровообращения внезапно дает о себе знать и некоторые люди тут же теряют сознание. Горизонтальное положение

всегда улучшает кровообращение и облегчает симптомы дегидратации. Смерть является результатом полного нарушения кровообращения: к сердцу возвращается слишком мало крови, наступает анурия, свидетельствующая о прекращении притока крови к почкам, и постепенно все ткани перестают функционировать.

Таким образом, все наблюдаемые изменения можно прямо или косвенно объяснить обезвоживанием крови и тканей и специфическими нарушениями кровообращения. Ясно, что улучшение кровообращения является важной частью терапии при дегидратации. До настоящего времени не были найдены средства, способные быстро увеличивать объем циркулирующей плазмы и таким образом ослабить симптомы дегидратации.

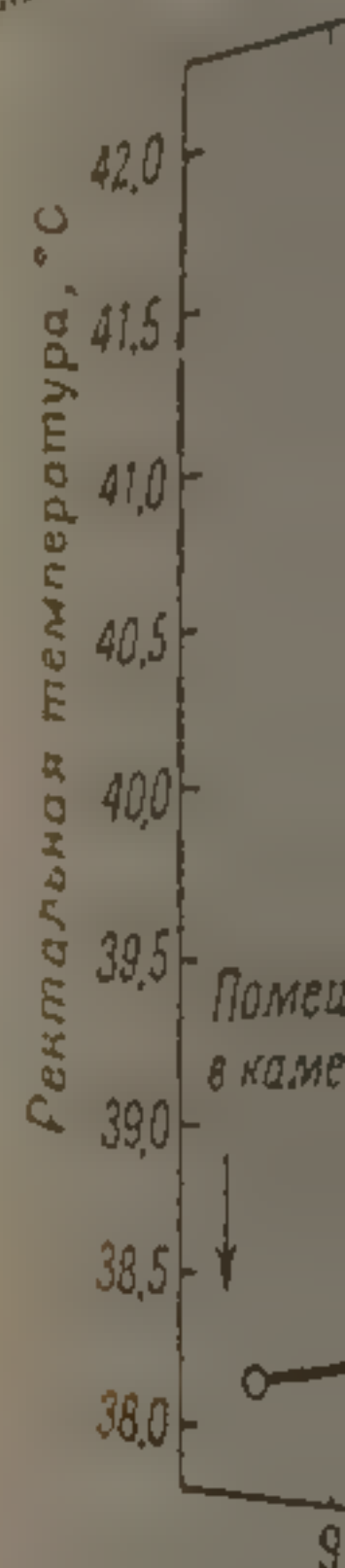
Если такие средства существуют и будут в конце концов обнаружены, то они смогут помочь решению вопроса о том, является ли теория нарушения периферического кровообращения наиболее правильным представлением о механизме дегидратации в пустыне.

Смерть от обезвоживания организма

Для изучения конечных стадий обезвоживания организма в пустыне мы обратились к экспериментам на животных. Было испытано 6 видов млекопитающих, однако подробно мы опишем лишь результаты, полученные на собаках, и сопоставим некоторые из них с наблюдениями, сделанными на животных других видов.

Прежде эксперименты по дегидратации состояли, в основном, в лишении животных воды при обычной температуре, что сопровождалось медленной потерей веса тела. Поскольку животные в таких случаях, как правило, отказывались от еды, то по прошествии многих дней становилось невозможным установить, в какой мере дефицит веса тела отражает потерю воды организмом. У собак быстрая дегидратация вызывалась путем вливания концентрированных растворов сахара, причем таким образом в течение нескольких часов терялось до 14—17% веса тела [4, 5]. Мы считали, что действие высокой температуры может вызвать более сильную дегидратацию и поэтому нарушение физиологических функций проявится резче и даст возможность определить непосредственную причину смерти при высоких температурах.

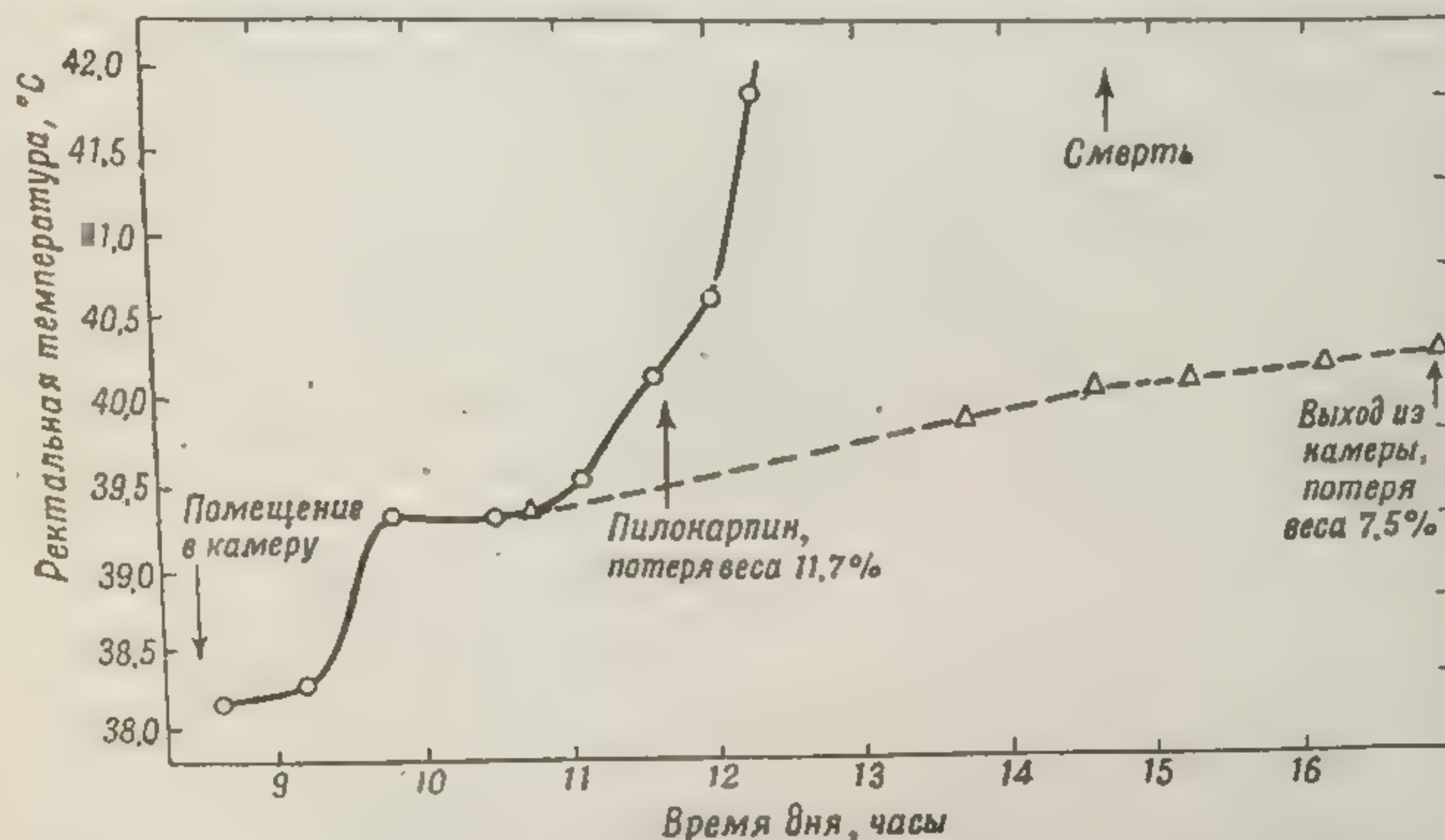
Когда собака подвергалась действию горячего воздуха (49—54,5°) и лишалась при этом питьевой воды, она начинала быстро и тяжело дышать. В результате испарения воды при одышке собака теряла за 1 час 1—1,5% веса тела. Затем постепенно появлялись изменения, наблюдаемые и у людей: ускорение пульса, повышение ректальной температуры и увеличение концентрации плазмы. Собака не могла стоять и лежала; количество слюны, капавшей с языка, уменьшалось; полипноэ сохранялось или медленно уменьшалось. Все эти симптомы хорошо известны и являются при-



Фиг. 115.
течение 2 д
23%. На
(1 мг кг ве
гревание те
кацией, пр
на примен
день пребы

выживали дов
туре 54,5°.
Повидимом
р: Потерял
статическое кол
ния?
Первая воз
влажной от сл
продолжалось
отделение (без
ния ректально
Недостаточн
что ректально
лась холодной
недостаточност
охлажденной

знаками дегидратационного истощения. Однако когда потеря веса тела достигала 10—14%, ректальная температура собаки начинала резко повышаться. После этой стадии животное выживало только в том случае, если его переводили в более прохладную атмосферу или давали пить. Любое из этих мероприятий восстанавливало нормальное состояние животного. Собаки, которым разрешали пить,



Фиг. 115. Ректальная температура у собаки, содержащейся в течение 2 дней при температуре $48,3^{\circ}$ и относительной влажности 23%. На 2-й день собаке вводился внутривенно пилокарпин (1 мг кг веса тела), вызывавший обильное слюноотделение. Перегревание тела привело к нарастающему параличу, с рвотой и дефекацией, прекращению дыхания и сердечной деятельности (несмотря на применение искусственного дыхания). Пунктирная линия — 1-й день пребывания в тепловой камере; сплошная линия — 2-й день пребывания в тепловой камере.

выживали довольно длительное время (32 часа) при температуре $54,5^{\circ}$.

Повидимому, дегидратация лишала собаку толерантности к жаре. Потерял ли организм способность выделять при одышке достаточное количество воды или наступило нарушение кровообращения?

Первая возможность отпадает, так как пасть собаки была еще влажной от слюны, хотя последняя и не капала с языка; полипноэ продолжалось и введение пилокарпина вызывало обильное слюноотделение (без уменьшения полипноэ), но не задерживало повышения ректальной температуры (фиг. 115).

Недостаточность кровообращения проявлялась у собаки в том, что ректальная температура повышалась, тогда как морда оставалась холодной. Учащенный пульс частично компенсировал эту недостаточность. Повидимому, был нарушен перенос тепла к охлажденной поверхности тела.

При невысокой температуре окружающей среды собака, находящаяся в состоянии обезвоживания, выживала дольше. Ее движения и походка становились неуверенными, но ректальная температура оставалась нормальной. Когда собаке в конце концов давали воду, она охотно пила и все нарушенные функции быстро возвращались к норме. Максимальная экспериментально вызванная дегидратация достигала 17% веса тела; повидимому, быстрое обезвоживание организма путем полипноэ невозможно, даже при потере толерантности к жаре.

О близости смерти свидетельствовала ректальная температура. Если собаку удаляли из тепловой камеры, когда ее ректальная температура была около $41,7^{\circ}$ (или ниже), то восстановление нормального состояния было еще возможно. Иногда собаки выживали при ректальной температуре 42° . Когда температура достигала $42,8^{\circ}$, собака жила не более нескольких минут. Но если собаку выводили из тепловой камеры в таком критическом состоянии, то животное восстанавливало свой водный баланс питьем, а температуру тела — теплоотдачей. Однако через 2—26 час. оно погибало в судорогах. В общем, чем меньше повышается температура тела, тем дольше выживает животное, но при этом встречаются и исключения.

Летальная ректальная температура почти одинакова как у собак, находящихся в состоянии дегидратации, так и у собак с нормальным водным балансом. Холл и Уэкфилд [6] указывают, что собаки, помещенные на 1—2 часа в условия невыносимой жары, затем погибали. Картина смерти, повидимому, была одинаковой, независимо от того, вызывалась ли она только высокой температурой или обезвоживанием организма. Очевидно, при высокой температуре тела необратимо повреждаются некоторые ткани организма. Поверхностные исследования при вскрытии не смогли установить, какие именно ткани повреждаются, но опыты некоторых исследователей [7] на изолированных тканях показали, что во многих из них сильно меняются процессы обмена. Повреждение жизненно важных тканей делает невозможным дальнейшее существование животного. Появление судорог до прекращения кровообращения заставляет предполагать повреждение центральной нервной системы.

Смерть под влиянием условий пустыни наблюдалась и у других видов животных. У кошек обезвоживание организма протекает так же, как и у собак; дефицит веса тела может достигать 20%. Кошки переносят более высокую ректальную температуру (43°), чем собаки. Единственным признаком появления патологических изменений у этого животного являются значительные колебания ректальной температуры после пребывания в тепловой камере. У кошки, по всем признакам совершенно оправившейся от перегрева и дегидратации, ректальная температура может колебаться в пределах $33,9$ — 40° . Мы наблюдали такие широкие колебания рек-

тальной температу-
второго дня
Кролики и
хании и не об-
долго при темп-
у них нарастае-
не может служ-
обезвоживания
когда она дастс-

температуры во-
Внутрибрюшин-
животных к дей-
далась медленн-
во время жары
температуре во-
Поэтому даже
лишь в два раз-

Нет подроб-
которые сообще-
ботах Кинга и
невысокой темп-
внезапной, как
в результате чр-
в первом случае
образного кома-
ций, между тем
нарушений сов-
умирает в сту-

1. Явления
отсутствия вод-
нальных нару-
потерявших (за-
камере — до 1
описана други-

2. Качество
при дефиците
меньше страда-
при ходьбе и
дефицита, при
является поле-

3. К изуче-
изменения об-

тальной температуры у выживших животных во время первого и второго дня восстановления.

Кролики и морские свинки не раскрывают широко рта при дыхании и не обладают полипноэ, поэтому они выживают очень недолго при температуре выше 43° (сухой термометр). Дегидратация у них нарастает медленно, и поэтому помещение в тепловую камеру не может служить практическим методом достижения быстрого обезвоживания организма. Эти виды животных редко пьют воду, когда она дается им в тепловой камере, так что к действию высокой температуры всегда присоединяется и состояние дегидратации. Внутривенное введение жидкости не повышало выносливости животных к действию высокой температуры: у обоих видов наблюдалась медленная смерть от перегрева организма. Крысы и мыши во время жары не дышат учащенно и не могут долго противостоять температуре воздуха, превышающей $38,8^{\circ}$ (сухой термометр). Поэтому даже в тепловой камере дегидратация у них наступает лишь в два раза быстрее, чем при обычной температуре.

Нет подробных описаний смерти людей от дегидратации. Некоторые сообщения, полученные из вторых рук, приводятся в работах Кинга и Мак Ги (см. стр. 254—255). Мы полагаем, что при невысокой температуре смерть от дегидратации не является столь внезапной, как при жаре, когда она носит характер теплового удара в результате чрезмерно высокой температуры тела. Возможно, что в первом случае смерть от дегидратации наступает вследствие своеобразного коматозного состояния и постепенного выпадения функций, между тем как при жаре смерть в конвульсиях — результат нарушений совершенно другого рода. В обоих случаях человек умирает в ступоре или в бессознательном состоянии.

Выводы

1. Явления, развивающиеся в организме человека в пустыне при отсутствии воды, выражаются в прогрессивно нарастающих функциональных нарушениях. В полевых условиях мы наблюдали людей, потерявших (за счет водного дефицита) до 8% веса тела, в тепловой камере — до 11%; большая степень дегидратации (случайная) была описана другими авторами.

2. Качественные признаки и симптомы становятся заметными при дефиците веса тела в 4—6%; ощущение жажды доставляет меньше страданий, чем головная боль и одышка. Люди спотыкаются при ходьбе и когда их останавливают теряют сознание. Степень дефицита, при котором впервые появляется каждый симптом, является полезным показателем. Наиболее яркие признаки и симптомы дегидратации перечислены в табл. 41.

3. К изученным нами количественным изменениям относятся изменения объема плазмы, слюноотделения, концентрации крови,

Таблица 41

ПРИЗНАКИ И СИМПТОМЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОРГАНИЗМА У ЧЕЛОВЕКА¹⁾

При водном дефиците		
1—5% веса тела	6—10% веса тела	11—20% веса тела
Жажда Чувство неопределенного недомогания Экономия движений Анорексия Покраснение кожи Раздражительность Сонливость Учащение пульса Повышение ректальной температуры Тошнота	Головокружение Головная боль Одышка Мурашки в конечностях Уменьшение объема крови Повышение концентрации крови Прекращение слюноотделения Цианоз Неясная речь Невозможность ходить	Бред Спазмы Распухший язык Невозможность глотать Глухота Ослабление зрения Дряблая кожа Болезненное мочеиспускание Онемение кожи Анурия

1) Признаки и симптомы расположены в порядке их появления при прогрессирующем обезвоживании организма, вызванном высокой температурой воздуха.

частоты пульса, легочной вентиляции и температуры тела. Эти изменения прогрессируют по мере нарастания дегидратации, в то время как потребление кислорода, острота зрения и слуха, координация движений и некоторые другие функции организма человека заметно не изменяются.

4. Зависимость между этими изменениями физиологических функций частично выяснена: они указывают на нарушение периферического кровообращения. О степени обезвоживания организма можно судить по сопоставлению признаков или изменений; дегидратационное истощение наступает при дефиците веса тела 5—10%.

5. Повидимому, дефицит в 15—25% является смертельным (15% при температуре воздуха выше 30°; 25% — при более низкой температуре).

ЛИТЕРАТУРА

1. McGee W. J., *Interstate M. J.*, 13, 279 (1906).
2. King J. H., *Am. J. M. Sci.*, 75, 404 (1878).
3. McConnell W. J., Yagloglou C. P., Fulton W. B., *Publ. Health. Rep.*, 39, 3075 (1924).
4. Keith N. M., *Am. J. Physiol.*, 68, 80 (1924).
5. Wierzechowski M., *J. Physiol.*, 87, 311 (1936).
6. Hall W. W., Wakefield E. G., *J.A.M.A.*, 89, 177 (1927).
7. Kellaway C. H., Rawlinson W. A., *Australian J. Exper. & M. Sc.*, 22, 63 (1944).

Глава XV

ЖАЖДА

Каждый из нас ощущал жажду — сильную и непродолимую потребность в питье. Эта элементарная потребность нашего организма еще не достаточно изучена, и поэтому мы хотим рассмотреть здесь некоторые ее признаки.

Когда человек пьет воду, принято говорить, что он утоляет жажду. Жажда — это ощущение, которое можно выразить как потребность в воде. Это ощущение известно нам из собственного опыта и опыта других людей. Его нельзя обнаружить каким-либо другим способом: неизвестны ни вызывающие его афферентные нервные импульсы, ни те нервные волокна, перерезка которых прекращает это ощущение. Принято считать, что когда животное пьет, оно реагирует на подобное ощущение. Поэтому количество выпитой воды является мерилем степени этого ощущения. Недостаток воды в организме также определяется словом «жажда». В этом случае его можно заменить и другими терминами («водный дефицит», «состояние дегидратации», «обезвоживание» и т. п.).

Ранние исследования

Жажда являлась предметом научного исследования, по крайней мере, уже 200 лет назад. В 1821 г. Рюлье [1] опубликовал статью с чрезвычайно обстоятельным изложением состояния вопроса. В большинстве исследований авторы стремились выяснить локализацию ощущения жажды [2]. Некоторые считали, что слизистая рта или глотки обладает рецепторами, которые реагируют на отсутствие или повышенное содержание жидкости в теле. Другие считали, что большее значение имеет степень насыщения водой или объем всех или некоторых тканей тела. Согласно этому взгляду, концентрация плазмы крови служит показателем состояния всех других тканей тела. Обе точки зрения были достаточно хорошо аргументированы.

Современные опыты, проведенные на собаках, показывают наличие как местных, так и общих факторов, одновременно участвующих в вызывании жажды [3]. У собак, использовавшихся для таких испытаний, пищевод выводился наружу. Пища и вода вводились в ту часть пищевода, которая вела в желудок. Вода, которую

собака выпивала сама, выливалась через верхнюю часть пищевода. Когда в желудок с пищей вводилось недостаточное количество воды, наступало обезвоживание организма, измеряемое по уменьшению веса тела. Собака продолжала свое минимое питье в количествах, возрастающих соответственно убыли воды в организме [4]. Таким образом удавалось вызывать у собаки определенную дегидратацию [8]. Собака лишалась минимого питья в течение 1 часа или более, и после этого ей в желудок вводилось количество воды, соответствующее ее водному дефициту. Если собаке немедленно после этого разрешалось пить, то она выпивала воду в количестве, примерно покрывавшем ее водный дефицит. Даже по истечении 15 мин. она выпивала то же самое количество. Однако через 20 мин. собака уже больше не изъявляла желания пить. Это указывало на то, что потребность в питье исчезла, повидимому, вследствие всасывания большей части введенной воды из нижнего отдела пищеварительного тракта.

Беллоуз произвел такое исследование на собаках, но без выведения наружу пищевода. Собакам ежедневно давалось определенное количество пищи и количество воды, недостаточное для сохранения нормального водного баланса. Когда в организме собаки достигался известный водный дефицит, ей при помощи зонда вводили в желудок определенное количество воды для покрытия этого дефицита. Если при этом собаке сразу же давали воду, то она выпивала дополнительно еще такое же количество. Таким образом, дефицит компенсировался дважды: один раз при помощи зонда, а другой раз через рот. В других опытах собаке давалась вода не сразу же после заполнения желудка, а через разные промежутки времени. Через 20 мин. или позже у собаки пропадало желание пить.

На основании этих опытов можно сделать следующие выводы.

- 1) Вода, проходя через рот и глотку, на 30 мин. или больше снимает ощущение жажды.
- 2) Вода, абсорбируемая пищеварительным трактом (даже в том случае, если она попала в желудок не через глотку), также снимает чувство жажды.
- 3) Повидимому, жажда может быть удовлетворена двояким образом: а) временно, путем увлажнения глотки, и б) более длительно, в результате распределения всосавшейся воды током крови.

Известно, что существует тесная зависимость между дефицитом воды в организме и количеством выпиваемой воды. У собаки это соотношение настолько точно, что количество требующейся воды можно определить только по потере веса [5]. У человека это соотношение менее точно, но все же статистически достоверно [6]. Поэтому водный дефицит может служить легко учитываемым признаком, характеризующим количество выпиваемой жидкости или интенсивность жажды.

Конечно, нервная система так же необходима для акта питья.

как и для
будущего
дегенерации
влияет на к
разных участ
выпиваемой
и после полн
торых участк
Однако все эт
того ощущения.

Имеются до
уменьшении сод
тате перитонеа
в питье уменьш
наваливается пр
чувство жажды
жидкости. В пас
является при о
ционных веществ
потери этих вещ

Выяснение ло
явлении ощуще
которые из стоя
Какие проце
Почему ежеднев
воды? Что менес
или выделяемой
соли, гормоны п
количество вып
всеного определе
тишь частично. П
жажды. Эта про
ром изучается о

Следует отме
ся нами во врем
1. Некоторые
пилают сразу вс
сания водного д
воты как раз
(полиурия — пр
гими словами, в
должен удержат
и осла [8]. Крыс

как и для акта дыхания или любого другого процесса, требующего сокращения скелетных мышц [7]. Было показано, что денервация глотки, не нарушающая моторики глотания, не влияет на количество обычно выпиваемой воды. Повреждение разных участков гипоталамуса и гипофиза увеличивает количество выпиваемой воды (несахарный диабет). Такое же явление отмечается и после полной денервации глотки. Наконец, повреждение некоторых участков мозжечка также оказывает подобное действие. Однако все эти наблюдения мало помогают выяснению природы того ощущения, которое мы называем «жаждой».

Имеются достаточно убедительные доказательства, что при уменьшении содержания в организме хлористого натрия в результате перитонеального диализа или потоотделения потребность в питье уменьшается соответственно солевому дефициту и восстанавливается при его возмещении. Из этого можно заключить, что чувство жажды появляется только при потере внутриклеточной жидкости. В настоящее время нам лишь известно, что жажда появляется при определенном нарушении соотношения конституционных веществ в организме и что тип дегидратации зависит от потери этих веществ вместе с водой.

Выяснение локализации активных структур, участвующих в появлении ощущения жажды, в лучшем случае даст ответ лишь на некоторые из стоящих перед нами вопросов.

Какие процессы определяют количество выпиваемой воды? Почему ежедневно потребляется почти одно и то же количество воды? Что менее постоянно — количество ежедневно выпиваемой или выделяемой воды? Какое влияние оказывают пища, лишение соли, гормоны передней доли гипофиза и коры надпочечников на количество выпиваемой воды? Все эти вопросы требуют количественного определения; в настоящее время мы можем ответить на них лишь частично. Все имеющиеся данные касаются только ощущения жажды. Эта проблема возникает при любом эксперименте, в котором изучается обмен или определяется вес тела.

Дополнительные наблюдения

Следует отметить несколько любопытных фактов, наблюдавшихся нами во время работы в пустыне.

1. Некоторые виды млекопитающих после дегидратации выпивают сразу всю или почти всю воду, необходимую для компенсации водного дефицита. Грубо говоря, выпиваемого количества воды как раз достаточно для достижения порога полиурии (полиурия — признак наличия в организме избытка воды). Другими словами, выпивается то количество воды, которое организм должен удерживать. Именно так обстоит дело у собаки, кролика и осла [8]. Крысе требуется 15 мин., чтобы покрыть 80% дефицита,

человеку для этого нужно 30 мин. и больше. Эта видовая специфичность совершенно не связана с какими-либо другими свойствами человека или крысы. Если человека заставить сразу выпить такое количество воды, которое возместит водный дефицит, то в результате не возникнет ни полиурии, ни какого-либо другого нарушения функций; однако нужно отметить, что принудительное питье неприятно.

2. По мере акклиматизации человека в пустыне жажда у него появляется реже. Если, приехав в пустыню, он непрерывно пьет воду небольшими порциями, то через несколько дней его вполне удовлетворяет прием воды с интервалами в 1—2 часа, но каждая порция выпиваемой воды немного увеличивается и дефицит веса тела нарастает медленнее. Этот факт заставляет предположить, что хотя значительное количество воды неблагоприятно действует на пищеварительный тракт, однако последний может приспособиться к приему воды большими порциями и это будет даже приятно.

3. Ощущение жажды менее интенсивно во время работы. При одном и том же дефиците воды и в одинаковых условиях работающих и сильно потеющий человек легче может обойтись без воды, чем человек, отдыхающий и мало потеющий. Как только работа прекращается, человек с жадностью набрасывается на воду, но выпивает недостаточно для того, чтобы возместить образовавшийся дефицит. Возрастающий таким образом водный дефицит мы называем «непроизвольной дегидратацией» (см. главу XVI). В таких случаях ощущение жажды настолько ослабляется, что человек в течение некоторого времени не выпивает даже того количества воды, которое может удержаться в организме, и водный дефицит у него может достигнуть 4—5% веса тела. Неизвестно, почему в таком состоянии подавляется потребность в питье.

4. Чувство голода не мешает проявлению чувства жажды. Большинство людей воспринимает их как два совершенно различных ощущения. Более того, прием пищи не только не подавляет ощущения жажды, но усиливает его. Влажная глотка и полный пищеварительный тракт не подавляют желания пить. Усиление жажды, повидимому, наступает раньше, чем пища успевает перевариться, и, возможно, еще до выделения значительного количества пищеварительных соков. Все это совершенно непонятно, особенно если учесть имеющиеся в настоящее время гипотезы о возникновении жажды.

5. Обильное слюноотделение не прекращает чувства жажды. Это доказывается результатами экспериментов, проведенных на людях, находящихся в состоянии дегидратации, у которых слюноотделение составляло 10% нормального; после введения пилокарпина слюноотделение у них увеличивалось, а ощущение жажды оставалось прежним (фиг. 116).

6. Потребность в питье становится более интенсивной у людей, которые изо дня в день заставляют себя выпивать большое количество

во воды. О
сообщения
но выпиват
пивает по 7
принужден
ленное пить
нескольких
фированное
рактрно для
наступающ
области гип
блюдается у
ческих личн
после того
пустыню, где
большое коли
да прекраща
ловек удивляе
нейпотребнос

Трудно на
всем этим
они заставля
гипотезы и
количества пр
ваний. Мы х
нать, что
жажды може
хотя она и я
ной. Однако да
возникновени
ее количеств
фициту воды

Обычно сл
жажды. Мног
дающиеся наб
ды и потребно
не лишена ос
слюноотделени
в питье слико
между слюноо
Так как п
при появлении
слюноотделени

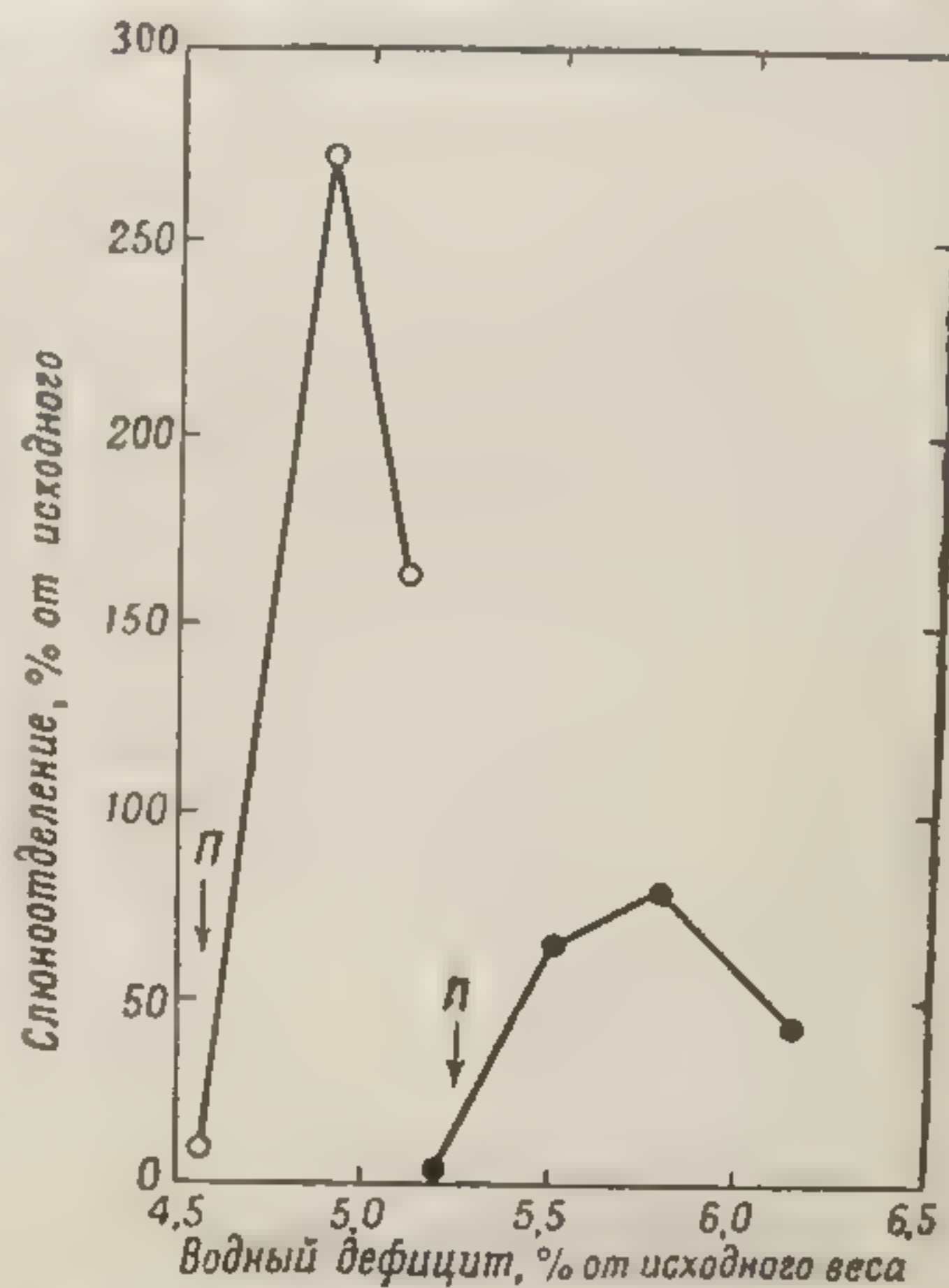
во воды. Об этом свидетельствуют два независимых друг от друга сообщения [9, 10]. Автор первого из них в течение 11 дней ежедневно выпивал по 6—7 л воды. Автор второго — в течение 127 дней выпивал по 7—18 л, причем жажда у него так усилилась, что он принужден был удовлетворять ее даже ночью. После того как усиленное питье было прекращено, жажда сохранялась еще в течение нескольких дней. Такое гипертрофированное ощущение жажды характерно для несахарного диабета, наступающего при повреждении области гипоталамуса, а также наблюдается у некоторых психопатических личностей [11]. К счастью, после того как человек покидает пустыню, где он привык выпивать большое количество жидкости, жажда прекращается внезапно и человек удивляется отсутствию прежней потребности в питье.

Трудно найти единое объяснение всем этим любопытным фактам; они заставляют выдвигать разные гипотезы и требуют большого количества практических исследований. Мы хотим здесь подчеркнуть, что проблема ощущения жажды может быть разрешена, хотя она и является очень сложной. Однако даже не зная причин ее возникновения, можно для данных конкретных условий выразить ее количественно, поскольку чувство жажды пропорционально дефициту воды в организме.

Слюноотделение

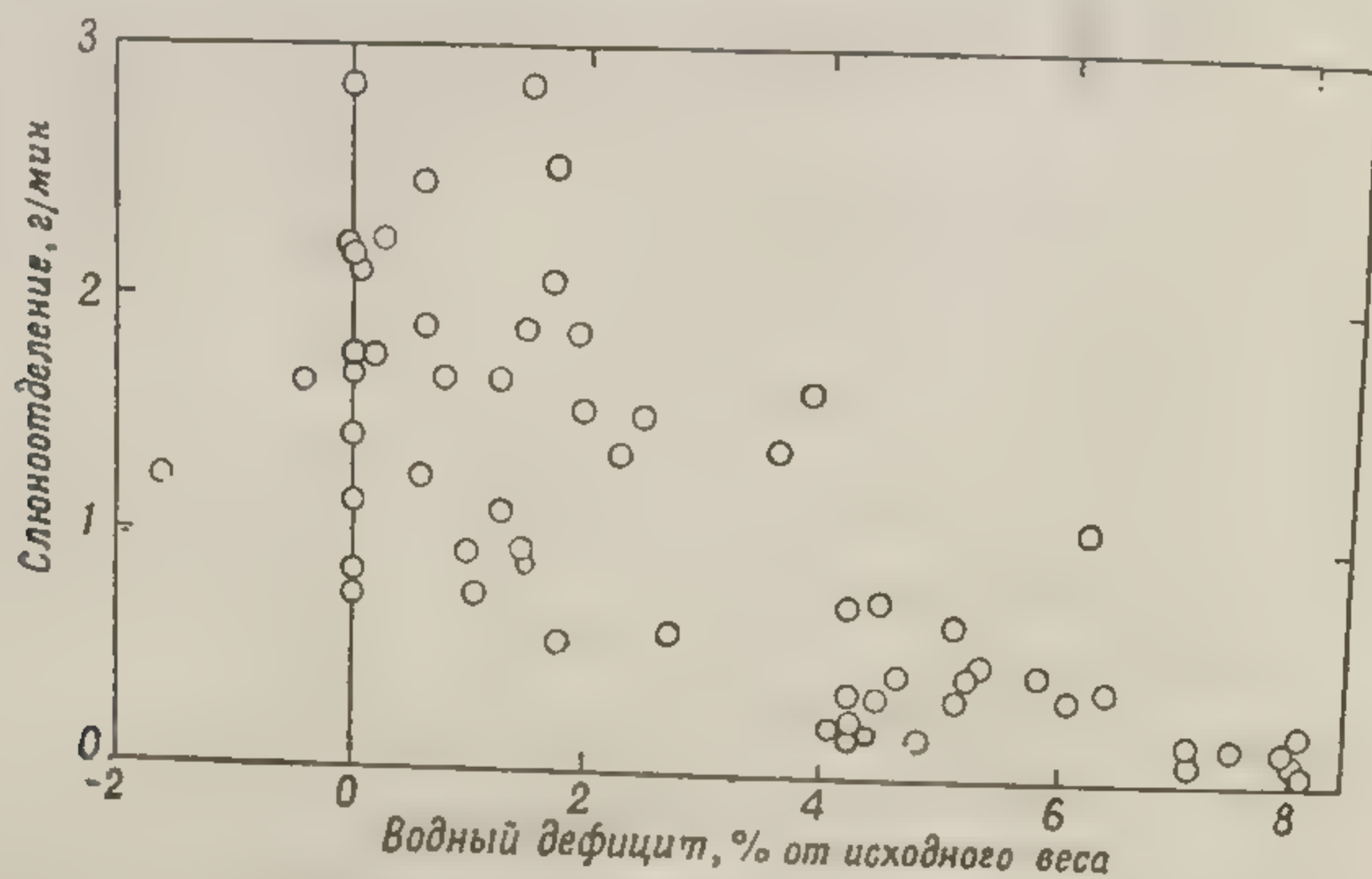
Обычно слюноотделение представляется связанным с чувством жажды. Многие другие физиологические функции, менее легко поддающиеся наблюдению, также изменяются вместе с ощущением жажды и потребности в питье. В действительности такая ассоциация не лишена основания, ибо существует явная зависимость между слюноотделением и дегидратацией. Как мы показали, потребность в питье целиком определяется обезвоживанием организма, поэтому между слюноотделением и жаждой должна быть корреляция.

Так как предыдущие исследования показали, что у человека при появлении даже незначительного водного дефицита уменьшается слюноотделение, мы предприняли точное измерение слюноотделе-



Фиг. 116. Слюноотделение до и после введения пилокарпина (П) у двух испытуемых, находящихся в состоянии обезвоживания организма.

ния и водного дефицита. Во время дегидратации, вызванной в лаборатории действием высокой температуры, мы собирали слюну за разные интервалы времени. Каждый испытуемый в течение 10 мин. жевал 2—3 г парафина. Слюна, выделявшаяся в течение первых 5 мин., проглатывалась, а слюна, выделявшаяся за последующие



Фиг. 117. Слюноотделение при различном водном дефиците. Каждый кружок обозначает одно определение.

5 мин., собиралась в пробирку, вес которой был известен. В конце опыта пробирка взвешивалась для определения количества выделенной слюны.

На фиг. 117 нанесены результаты 9 испытаний, проведенных на 4 испытуемых. Корреляция ($-0,74$) между интенсивностью слюноотделения и дефицитом веса тела оказалась значительной. Слюноотделение уменьшается примерно пропорционально водному дефициту. Когда дефицит достигал 8% веса тела, слюноотделение почти прекращалось; на такой стадии дегидратации человек не может больше сплевывать слюну, даже если он жует. Это легкодоступный и удобный метод оценки угрожающей степени водного дефицита.

Таким образом, интенсивность слюноотделения может служить показателем водного дефицита в организме и, тем самым, показателем степени жажды. В противоположность этому мочеотделение не может служить полезным критерием степени дегидратации или жажды.

Прием пищи и жажда

В чем состоит специфичность проблемы питания в пустыне? Часто высказывалось мнение, что некоторые продукты питания усиливают ощущение жажды, между тем как другие уголяют ее. Для выяснения основательности такого предположения необходимо было установить какой-то критерий жажды. Мы обратились к испытуемым с просьбой определить их ощущение жажды, но нам

удалось лишь
известном та
Мы пыта
1) Влия
субъективно
2) Какие
ном дефиците
3) Съедает
век, имеющий
Однако по
щими. Первый
стоянии дегид
ничего не ела,
без ограничен
от 8 час. 30 ми
до 15 час 10 ми
2% веса тела.
каждый, а в 14
Больше ничего
за последние
мых, заметно н
съедаемых кон
испытуемые на
были в состоя
В другом оп
с 9 час. 30 мин.
му предоставил
дуктов два ро
В 14 час. 20 ми
чения. Между
ментом съедени
Все испытуемы
вала гораздо
Повидному
съедено людям
явления погр
Вышеизложен
и мог дать тол
лее потных да
мых в пустыне
снабжать пице
возможность пи
люди съели зна
чительно больш
Второй вопро
находящиеся в с
18 э. Адольф

удалось лишь собрать данные о количестве воды, выпиваемой при известном водном дефиците в организме.

Мы пытались выяснить следующие вопросы:

1) Влияет ли прием пищи на потребность в воде или на субъективное ощущение жажды?

2) Какие пищевые продукты предпочитают людьми при водном дефиците?

3) Съедает ли человек при водном дефиците меньше, чем человек, имеющий в своем распоряжении достаточно воды?

Однако полученные нами данные нельзя считать исчерпывающими. Первый вопрос изучался на испытуемых, находящихся в состоянии дегидратации, из которых половина ела леденцы, а другая ничего не ела, после чего всем была предоставлена вода для питья без ограничения. 3 августа 1943 г. 13 человек были лишены воды от 8 час. 30 мин. до 11 час. 15 мин., а затем снова с 12 час. 30 мин. до 15 час. 10 мин. В оба периода средний водный дефицит составлял 2% веса тела. В 10 час. 45 мин. 6 человек съели по 80 г леденцов каждый, а в 14 час. 40 мин. 7 человек съели по 50 г леденцов каждый. Больше ничего за это время они не ели. Количество воды, выпитой за последние полчаса каждого периода обеими группами испытуемых, заметно не различалось. Быть может, при большем количестве съедаемых конфет могло бы проявиться большее различие, однако испытуемые находились в таком состоянии дегидратации, что не были в состоянии съесть больше.

В другом опыте (23 июля 1943 г.) 17 человек было лишено воды с 9 час. 30 мин. до 11 час. 40 мин. После этого каждому испытуемому предоставили возможность выбрать из 10 разных пищевых продуктов два рода пищи и есть ее в неограниченном количестве. В 14 час. 20 мин. все испытуемые пили холодную воду без ограничения. Между количеством выпитой воды и количеством и ассортиментом съеденной пищи не было обнаружено никакой зависимости. Все испытуемые утверждали, что они сразу же после еды испытывали гораздо большую жажду, чем непосредственно перед ней.

Повидимому, какое-то небольшое количество пищи может быть съедено людьми в состоянии дегидратации без немедленного появления потребности в питье (характер пищи не имеет значения). Вышеизложенный эксперимент был слишком непродолжительным и мог дать только неопределенные результаты. Для получения более полных данных следовало бы изолировать группу испытуемых в пустыне на 2—3 дня, причем только половину этой группы снабжать пищей. В конце этого срока все должны были бы получить возможность пить до насыщения. Мы предполагаем, что если бы люди съели значительное количество пищи, то они выпили бы значительно больше воды.

Второй вопрос касается того, какую пищу предпочитают люди, находящиеся в состоянии обезвоживания организма. В опыте 23 июля

17 человекам, у которых дегидратация составляла 2% веса тела, дали возможность выбрать себе завтрак. Они оказывали явное предпочтение консервированному мясу, а сладостями, в общем, пренебрегали. Преимущественное внимание было оказано новым для них продуктам, особенно жирному бисквиту. В анкете большинство испытуемых высказались за то, что в состоянии дегидратации наиболее желательным продуктом являются сладости; в действительности же они выбрали консервированное мясо.

Следует отметить, что к моменту приема жидкости съеденная пища не успевала перевариться; повидимому, выбирались только легко проглатываемые продукты, причем каждый, вероятно, не осознавая этого, считал, что легче всего глотается жирная пища.

И в данном случае также требуется более длительный опыт, так как после переваривания и всасывания влияние принятой пищи на потребность в воде может быть совершенно другим. Остается открытым вопрос о том, может ли собственный опыт научить специально непроинструктированных людей избегать белковой пищи, для выведения конечных продуктов обмена которой требуется больше всего воды. Мы считаем, что в условиях ограниченного снабжения водой главными факторами в выборе пищи является не ощущение жажды, а легкость, с которой она жуется и глотается.

И, наконец, последний вопрос заключался в том, съедает ли человек при водном дефиците меньше, чем при нормальном водном балансе. Опыт продолжался 3 дня. 3 июля 8 испытуемых после часового похода без питьевой воды (средний дефицит 1,8% веса тела) съели в среднем по 154 г пищи. 7 июля эти же испытуемые получили такой же завтрак после 3-часовой более медленной дегидратации; водный дефицит поддерживался на уровне 2,3% исходного веса тела. Они съели в среднем по 36 г. В обоих случаях разрешалось выпивать во время еды только 100—700 г воды. 5 июля был контрольным днем без дегидратации, и испытуемые получили более 200 г пищи. Этот эксперимент нельзя считать достаточно удовлетворительным, так как следовало бы ежедневно из общего числа испытуемых выделять группу контрольных с нормальным водным балансом, чего не было сделано. Однако результат ясен: человек, находящийся в состоянии обезвоживания, съедает меньшее количество пищи.

Отвращение к еде (анорексия) является одним из наиболее постоянных последствий дегидратации. Едва ли требуется постановка специального опыта для установления этого факта. Предполагалось, что анорексия является результатом висцеральной ишемии, или уменьшения притока крови к пищеварительному тракту. Известно, что у млекопитающих при дегидратации, как правило, наступает анорексия; у крыс она достигает такой степени, что при отсутствии воды они съедают меньше 10% своей обычной нормы и

Хотя жажда сама по себе является физиологическим явлением, в питье может стать помехой этому? Извучивая состояние человека, например, ректальную температуру, сосать лимон или резинку. Наши исследования определяют состояние жадности, не изменяется ли предположение, что жажда основывается в состоянии жадности на уменьшении содержания воды из тканей в

18*

теряют в весе почти так же быстро, как и при одновременном лишении их пищи и воды.

Эти данные имеют некоторое значение для выяснения вопроса о том, какие продукты предпочитаются в условиях пустыни. Наши наблюдения показывают, что люди, в основном, выбирают продукты по их физическим свойствам, легче прожевываемые и проглатываемые, а не более вкусные. Не удалось выяснить, какие пищевые продукты утоляют или, наоборот, вызывают ощущение жажды. Оказалось, что пища в небольших количествах не вызывает дополнительного потребления воды, и поэтому мы пришли к заключению, что при дегидратации в пустыне лучше потреблять небольшое количество углеводов, чем обходиться совсем без пищи. Едва ли нужно искусственно ограничивать количество еды при обезвоживании организма, так как люди, находящиеся в таком состоянии, вообще не обладают большим аппетитом.

Однажды один офицер обратился к нам с просьбой указать ему блюдо, которое можно было бы есть без риска вызвать жажду; он полагал, что таким образом можно уменьшить потребность организма в воде. Нам не удалось изобрести такого меню. Вероятно, для того, чтобы не вызывать жажды или потребности в воде, следует вообще не есть сладостей или есть их только в небольших количествах. Но добровольно люди не согласятся ограничиваться таким рационом. Единственной удовлетворительной пищей в пустыне являются блюда из продуктов, богатых водой. Такие блюда являются просто замаскированным средством снабжения организма необходимой водой.

Облегчение жажды

Хотя жажда сама по себе и не представляет собой физиологического явления первостепенной важности, однако потребность в питье может стать иногда совершенно непреодолимой. Можно ли помочь этому? Известно много способов улучшения угнетенного состояния человека, страдающего в пустыне от недостатка воды; так, например, рекомендуется держать во рту камешек или пуговицу, сосать лимон или мясные экстракты, жевать листья кокка или резинку. Наш опыт показывает, что некоторые из этих средств имеют определенное значение, особенно для поддержания морального состояния людей. Однако ни одно из них, как мы могли заметить, не изменяет физиологического состояния человека.

Предполагалось, что некоторые медикаменты могут облегчить ощущение жажды и улучшить физическое состояние людей, находящихся в состоянии дегидратации. Лекарства выбирались на основании следующих соображений: 1) ощущение жажды может быть уменьшено стимуляцией слюноотделения или перемещения воды из тканей в плазму крови; 2) наступление дегидратации может

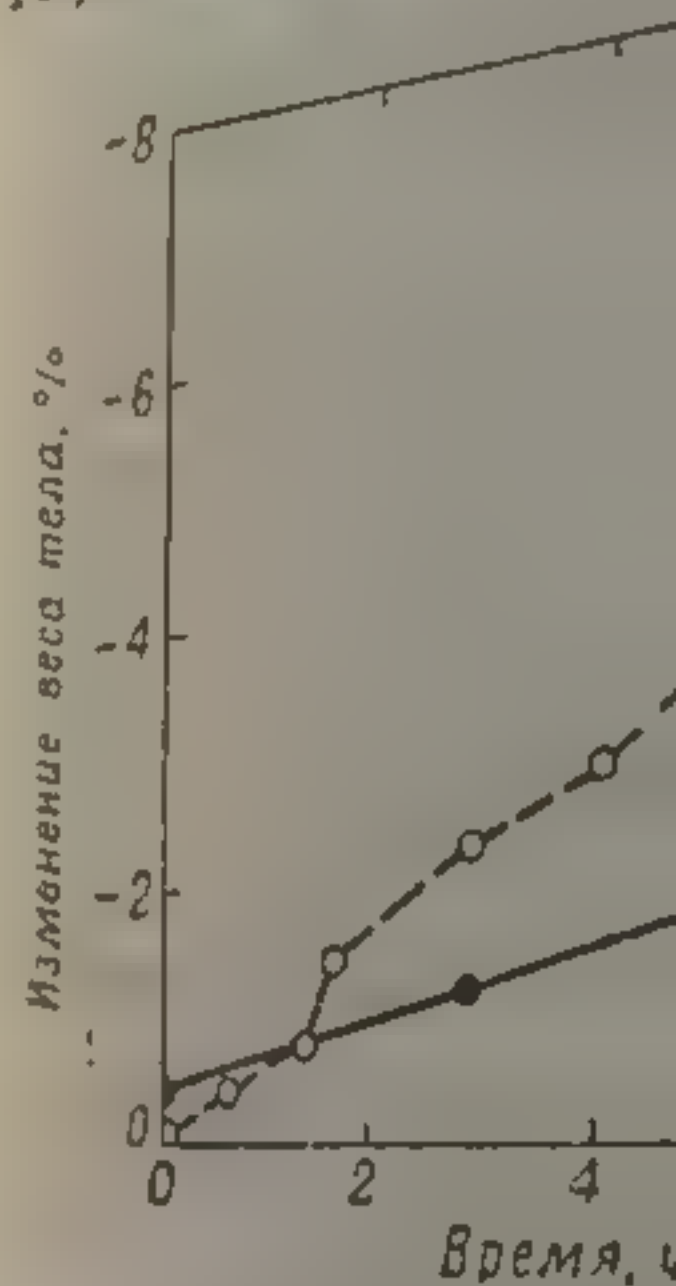
быть отсрочено повышением кровяного давления и усилением периферического кровообращения или перемещением воды в плазму из других тканей тела.

Испытуемые были подвергнуты (в помещении и на открытом воздухе) влиянию высокой температуры ($37,7-40,5^\circ$) при низкой относительной влажности ($6-20\%$). С целью учета результатов опыта периодически определялись вес тела, ректальная температура и частота пульса. Показатель преломления сыворотки крови определялся при помощи погружаемого рефрактометра. Прежде всего производился опрос испытуемых об их ощущениях после дегидратации. Затем половина испытуемых получала определенное лекарственное вещество, а другая половина — неактивные заменители, причем испытуемые не знали, что именно им было дано. Через 30—90 мин. они снова были опрошены, после чего им было разрешено пить сколько угодно холодной воды (14°). Последнее было нами сделано для получения дополнительного объективного показателя степени жажды. В некоторых экспериментах испытуемые ходили по солнцепеку (без воды) только до приема лекарства; в других — продолжали и после этого ходьбу в течение 90 мин. Все лекарства вводились через рот в следующих дозах: аминофиллин — 100 мг, сульфат бензедрина — 5—10 мг, цитрат кофеина — 65 мг, кортина в виде дезоксикортикостеронацетата — 2 мг (под язык), солянокислый пилокарпин — 7,5—10 мг. Результаты этих опытов учитывались при помощи вышеуказанных определений.

Показатель преломления сыворотки. У здоровых людей ксантин [12] и кортин [13] вызывают, как известно, разжижение плазмы крови. Как указывалось выше, дегидратационное истощение в основном является результатом нарушения кровообращения, вызванного отчасти изменением концентрации плазмы крови с последующим уменьшением объема последней. Поэтому можно предполагать, что изменение концентрации плазмы является также одним из факторов, вызывающих жажду. Эти соображения побуждали нас к изучению влияния аминофиллина и кортина на показатель преломления сыворотки у людей, находящихся в состоянии дегидратации. Результаты двух типичных опытов, проведенных на 10 испытуемых в лабораторных условиях, изображены на фиг. 118 и 119. Мы пришли к заключению, что эти вещества не смогут повлиять на повышение концентрации крови у людей, страдающих от обезвоживания организма в пустыне.

Степень дегидратации. Табл. 42 иллюстрирует средние данные по влиянию разных лекарственных средств на потерю воды (потоотделение), частоту пульса и ректальную температуру испытуемых, потерявших во время похода в пустыне до введения этих веществ в среднем 2,1% исходного веса тела. Контрольная группа

такой же численности
пользованных на
только действие
ные изменения.
(под язык), потер
та, чем до него.



Фиг. 118. Потеря веса тела и изменение концентрации сыворотки аминофиллина (А). Температура воздуха 49° . Пунктирная линия — потеря веса тела; сплошная — потеря веса тела.

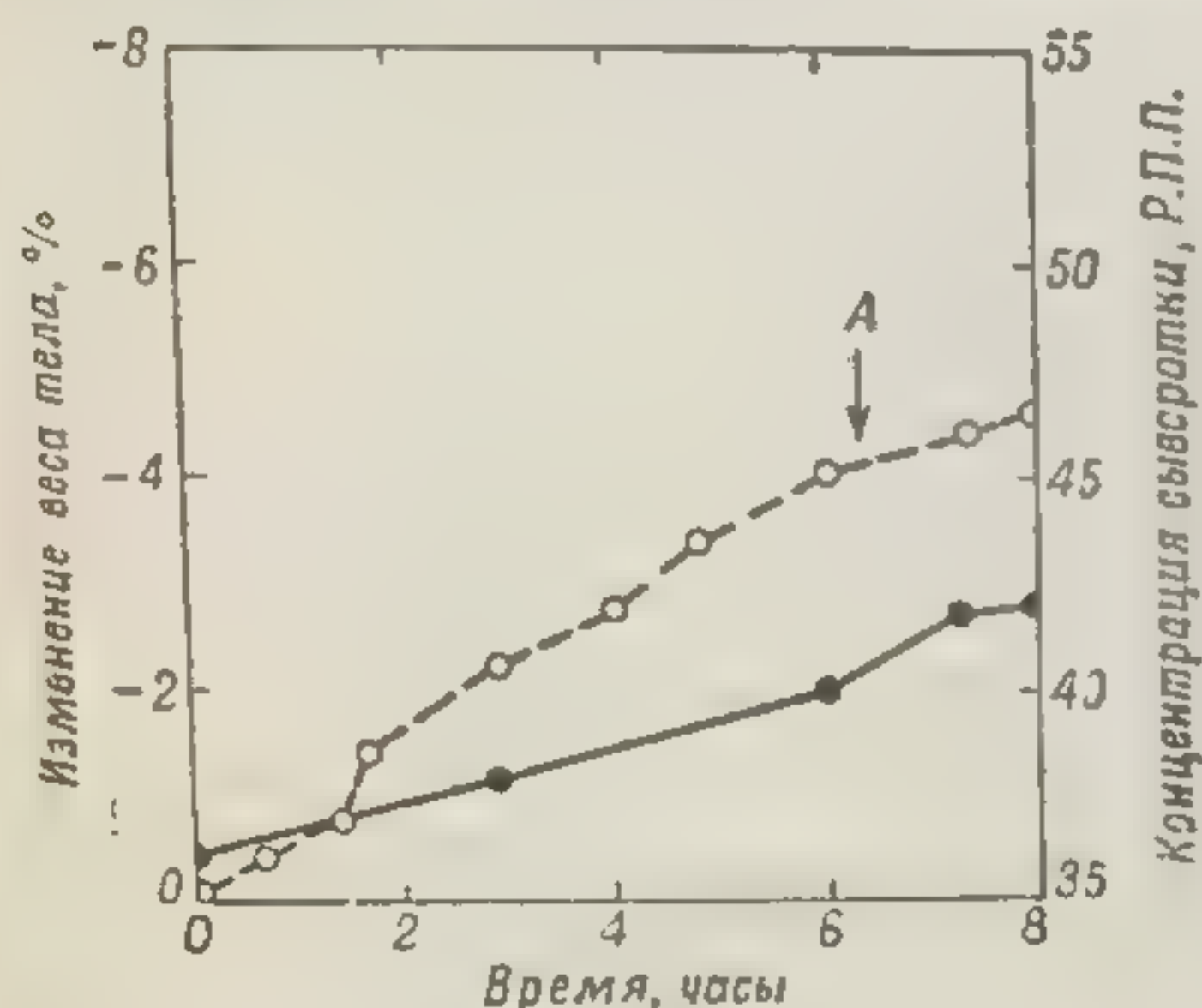
2 раза в разные дни
статочно убедитель
шалась, как этого
отделения.

Влияние
веса
Т

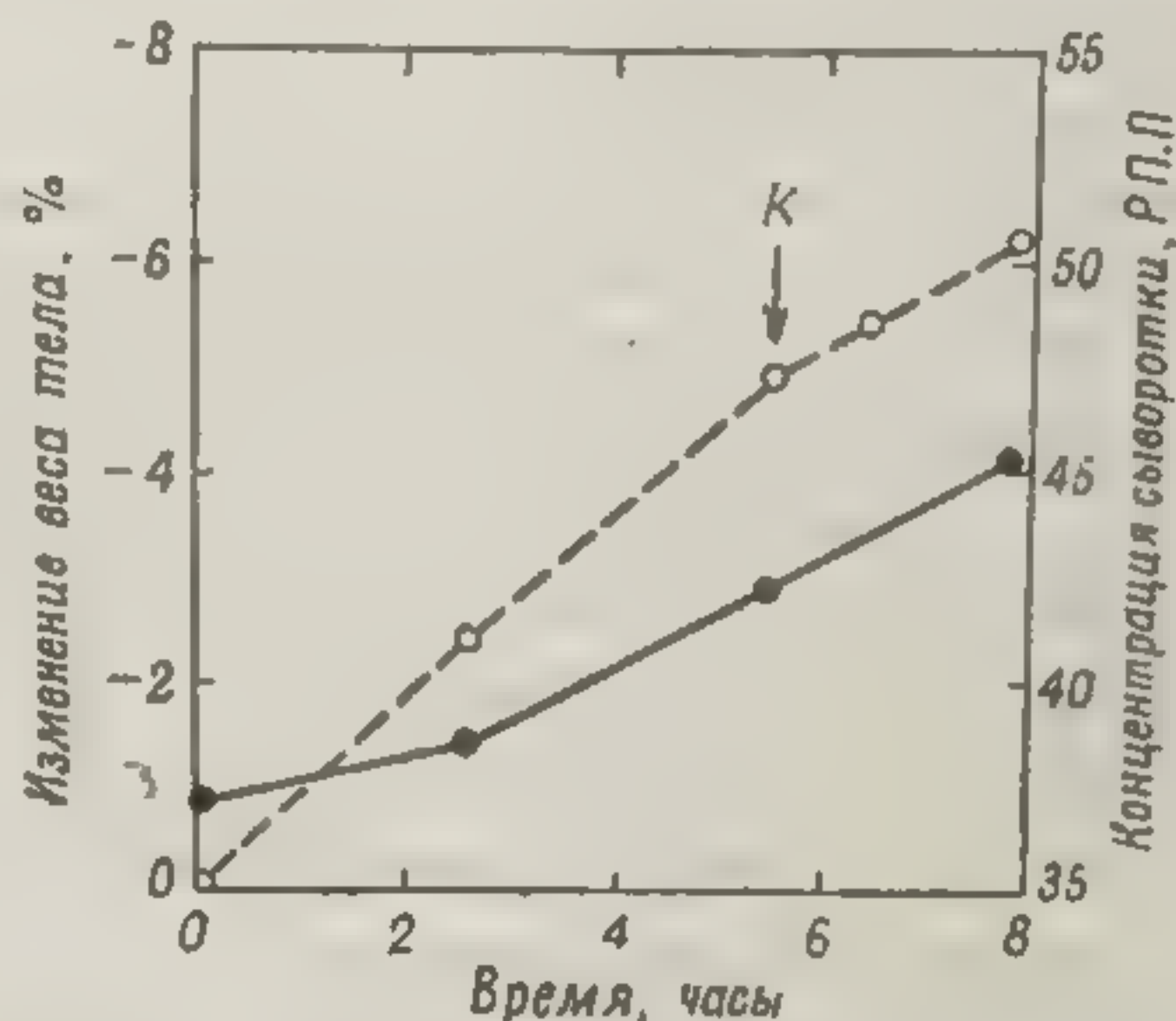
Медика

Аминофиллин
Бензедрин
Кофеин
Кортин
Пилокарпин

такой же численности получала неактивный заменитель. Из 5 использованных нами медикаментов в тепловой камере испытывалось только действие кортина, и он один вызвал в наших опытах заметные изменения. У каждого из 4 испытуемых, принимавших кортин (под язык), потеря веса тела была меньше после приема медикамента, чем до него. Хотя и возможно, что этот результат, полученный



Фиг. 118. Потеря веса тела и общая концентрация сыворотки при введении аминифиллина (А). Температура воздуха 49°. Пунктирная линия — потеря веса тела; сплошная линия — концентрация сыворотки.



Фиг. 119. Потеря веса тела и общая концентрация сыворотки при введении кортина (К). Температура воздуха 49°. Пунктирная линия — потеря веса тела; сплошная линия — концентрация сыворотки.

2 раза в разные дни, является достоверным, мы не считаем его достаточно убедительным, так как ректальная температура не повышалась, как этого можно было бы ожидать при уменьшении потовыделения.

Таблица 42

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕДИКАМЕНТОВ НА ПОТЕРЮ ВЕСА, ЧАСТОТУ ПУЛЬСА И РЕКТАЛЬНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ ЧЕЛОВЕКА В ПУСТЫНЕ

Медикамент	Число испытуемых в опытной и контрольной группах	Разница между показателями у испытуемых опытной и контрольной групп		
		потеря веса в 1 час, % от исходного веса	учащение пульса, удары/мин	повышение ректальной температуры в 1 час, °C
Аминифиллин	7	—0,03	—2	9,0
Бензедрин	14	—0,03	—3	—0,1
Кофеин	12	—0,03	0	0,0
Кортин	4	—0,35	0	0,0
Пилокарпин	6	—0,02	—4	—0,1

При приеме бензедрина во время похода испытуемые примерно через 40 мин. становились более оживленными и разговорчивыми. Они меньше, чем раньше, жаловались на трудность марша без воды, и некоторые даже запевали, несмотря на то, что к этому времени уже потеряли 3—4% веса тела. Кофеин и другие лекарства не оказывали такого бодрящего действия.

Наши данные о действии бензедрина и об отсутствии эффекта от кофеина у людей, близких к дегидратационному истощению, отличаются от результатов, полученных Фольтцем и его сотрудниками [14] на людях, выполнявших без значительной дегидратации изнуряющую работу. Эти авторы указывают, что только кофеин оказался средством, пригодным для улучшения физического состояния; однако поскольку мы применяли кофеин в дозах, составляющих $1/13$ дозы Фольтца, возможно, что именно этим фактом следует объяснить отсутствие эффекта в наших опытах. В опытах Фольтца бензедрин не оказал стимулирующего действия на физически истощенных людей, между тем как в наших опытах этот медикамент имел определенное тонизирующее действие на испытуемых, находившихся в состоянии дегидратации, в тех случаях, когда они не доходили до состояния истощения, а только ощущали сильную жажду и усталость.

Влияние медикаментов на ощущение жажды. Как показано в табл. 43, ни один из 5 медикаментов не уменьшал количества воды, выпиваемой за первые 30 мин. после дегидратации.

Таблица 43

ВЛИЯНИЕ МЕДИКАМЕНТОВ НА СТЕПЕНЬ
ДЕГИДРАТАЦИИ В ПУСТЫНЕ

Медикамент	Число испытуемых в опытной и контрольной группах	Количество воды, выпитой в опытной группе, % от дефицита веса тела	Количество воды, выпитой в контрольной группе, % от дефицита веса тела
Аминофиллин	7	76	52
Бензедрин	14	61	72
Кофеин	12	67	62
Кортин	3	37	37
Пилокарпин	6	68	59

Часть испытуемых ($1/3$), получивших пилокарпин, указывала на ослабление ощущения жажды после приема лекарства. Согласно показаниям испытуемых, ни одно из других лекарственных средств не производило такого действия.

Пилокарпин может заметно повысить слюноотделение у людей, находящихся в состоянии дегидратации, как это видно из резуль-

Пит. в пустыне 1.
Пилокарпин. Состо-
является одним из
дем. находившихся
было бы уменьши-
пилокарпин, нес-
шил количество
еет на то, что к
ко ощущением м
зультат мы по-
быстрое слюноот-
воды.

Хотя все эти
было бы желать.
мя ни один меди-
дящимся в усло-
в наших опытах
благоприятное де-
ли, что пилокарп
отсутствием воды
с осторожностью,
воте. В настоящ
еще не достаточн
небрежь его отри-
язык, вызывал з
камере, по в по
В лабораторных
вости к жаре пр
зедрин, повидимо
однако, ни одно

Мы попытались
ния жажды и при-
в состоянии дегид-
отделения умень-
чувства угнетени
мальному водном
жажды оказались
которые помогли
физических и пси-
Мы считаем, что
пления дегидрата-
людей, ни облегче-
знаем, чем можно

татов приема 10 мг этого вещества 2 испытуемыми (см. фиг. 116). Поэтому, если теория локального возникновения жажды [15] является единственно правильной, то введение пилокарпина людям, находящимся в состоянии обезвоживания организма, должно было бы уменьшить потребность в воде. Однако, как видно из табл. 43, пилокарпин, несмотря на стимуляцию слюноотделения, не уменьшал количества воды, выпиваемой к концу дегидратации. Это указывает на то, что количество выпиваемой воды регулируется не только ощущением местной сухости в глотке [16, 17]. Аналогичный результат мы получили с жеванием резинки; оно также вызвало быстрое слюноотделение, но не уменьшало количества выпиваемой воды.

Хотя все эти наблюдения не столь обширны, как этого можно было бы желать, все же они ясно показывают, что в настоящее время ни один медикамент не может быть рекомендован людям, находящимся в условиях недостатка воды. Из всех применявшихся в наших опытах средств кортин и бензедрин оказывали некоторое благоприятное действие и, кроме того, 2 из 6 испытуемых отмечали, что пилокарпин несколько облегчал страдания, причиняемые отсутствием воды. Однако это лекарство приходится применять с осторожностью, так как оно может вызвать временные боли в животе. В настоящее время благоприятное действие пилокарпина еще не достаточно убедительно доказано, чтобы можно было пренебречь его отрицательными свойствами. Кортин, введенный под язык, вызывал заметное уменьшение потоотделения в тепловой камере, но в полевых условиях его действие не испытывалось. В лабораторных условиях отмечалось также увеличение выносливости к жаре при внутримышечном введении кортина [18]. Бензедрин, повидному, приносит некоторое облегчение, не снимая, однако, ни одного из симптомов дегидратации или жажды.

Выводы

Мы попытались использовать современные теории возникновения жажды и пришли к заключению, что у человека, находящегося в состоянии дегидратации, невозможно путем увеличения слюноотделения уменьшить жажду, так же как и путем уменьшения чувства утомления вернуть самочувствие, соответствующее нормальному водному балансу. Таким образом, на практике все теории жажды оказались бесполезными. Нам нужны новые гипотезы, которые помогли бы установить практические способы облегчения физических и психических страданий, вызываемых жаждой.

Мы считаем, что нам не удалось ни изменить скорости наступления дегидратации при потоотделении, ни улучшить состояние людей, ни облегчить ощущение жажды. Иными словами, мы еще не знаем, чем можно заменить отсутствующую воду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rullier, Soif. См. Dictionnaire des Sciences Médicales, Paris, Panckoucke, 51, 448, 1821.
2. Mayer A., Essai sur le Soif; ses Causes et son Mécanisme, Paris, Alcan, 1901.
3. Bellows R. T., *Am. J. Physiol.*, 125, 87 (1939).
4. Adolph E. F., *Am. J. Physiol.*, 125, 75 (1939).
5. *Am. J. Physiol.*, 125, 75 (1939).
6. Adolph E. F., *Physiological Regulations*, Lancaster, Pa., Cattell, p. 98, 1943.
7. Bellows R. T., Van Wagenen W. P., *J. Nerv. & Ment. Dis.*, 88, 417 (1938); *Am. J. Physiol.*, 126, 13 (1939).
8. Adolph E. F., *Physiological Regulations*, Lancaster, Pa., Cattell, 1943.
9. Regnier A., *Ztschr. f. exper. Path. u. Therap.*, 18, 139 (1916).
10. Kunstmann, *Arch. f. exper. Path. u. Pharmacol.*, 170, 701 (1933).
11. Barahal H. S., *Psychiatric Quart.*, 12, 767 (1938).
12. Sakata S., *Arch. f. exper. Path. u. Pharmacol.*, 105, 11 (1925).
13. Clinton M., Jr., Thorn G. W., *Bull. Johns Hopkins Hosp.*, 72, 255 (1943).
14. Foltz E. E., Ivy A. C., Barborka C. J., *J. Lab. & Clin. Med.*, 28, 603 (1943).
15. Cannon W. B., *Proc. Roy. Soc. London, Ser. B*, 90, 283 (1918).
16. Montgomery M. F., *Am. J. Physiol.*, 92, 221 (1931).
17. Steggerda F. R., *Am. J. Physiol.*, 132, 517 (1941).
18. Schlegel B., *Klin. Wchnschr.*, 20, 506 (1941).

НЕПРОИ

Во время
новили, что
люди не вос
они теряют
сохранения
ной дегидрат
щения. Мы
влияющие на
произвольной

Степень неп

Во время
в пустыне, по
имели достат
нужды на пол
чества воды,
Средняя дегид
цу дневного
них дегидрат
мог закончит

В танке.
в течение 48
ного танково
ла в среднем

На земля
ных работах
Рабочий день
30 мин. средн
са тела. В
ция в 20

Глава XVI

НЕПРОИЗВОЛЬНОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОРГАНИЗМА

Во время наших опытов в пустыне и в тепловых камерах мы установили, что даже при наличии достаточных запасов питьевой воды люди не восполняют питьем всего того количества воды, которое они теряют в виде пота. В некоторых случаях эта невозможность сохранения нормального водного баланса приводила к значительной дегидратации, близкой к состоянию дегидратационного истощения. Мы попытаемся проанализировать некоторые факторы, влияющие на водный баланс, и наметить пути для уменьшения непроизвольного обезвоживания у людей, имеющих питьевую воду.

Степень непроизвольного обезвоживания организма в полевых условиях

Во время похода. Данные, полученные на учебном плацу в пустыне, подытожены в табл. 44. Люди, бывшие под наблюдением, имели достаточное количество воды во флягах, которые в случае нужды наполнялись снова. Как правило, люди не выпивали количества воды, достаточного для компенсации потери воды с потом. Средняя дегидратация в одной группе из 8 человек составляла к концу дневного перехода 4,5% исходного веса тела. У некоторых из них дегидратация достигла еще бóльшей степени, а один даже не мог закончить переход из-за дегидратационного истощения.

В танке. Водный баланс 7 членов танкового экипажа изучался в течение 48-часовых маневров. Через несколько часов интенсивного танкового сражения непроизвольная дегидратация составляла в среднем 3% веса тела (фиг. 120).

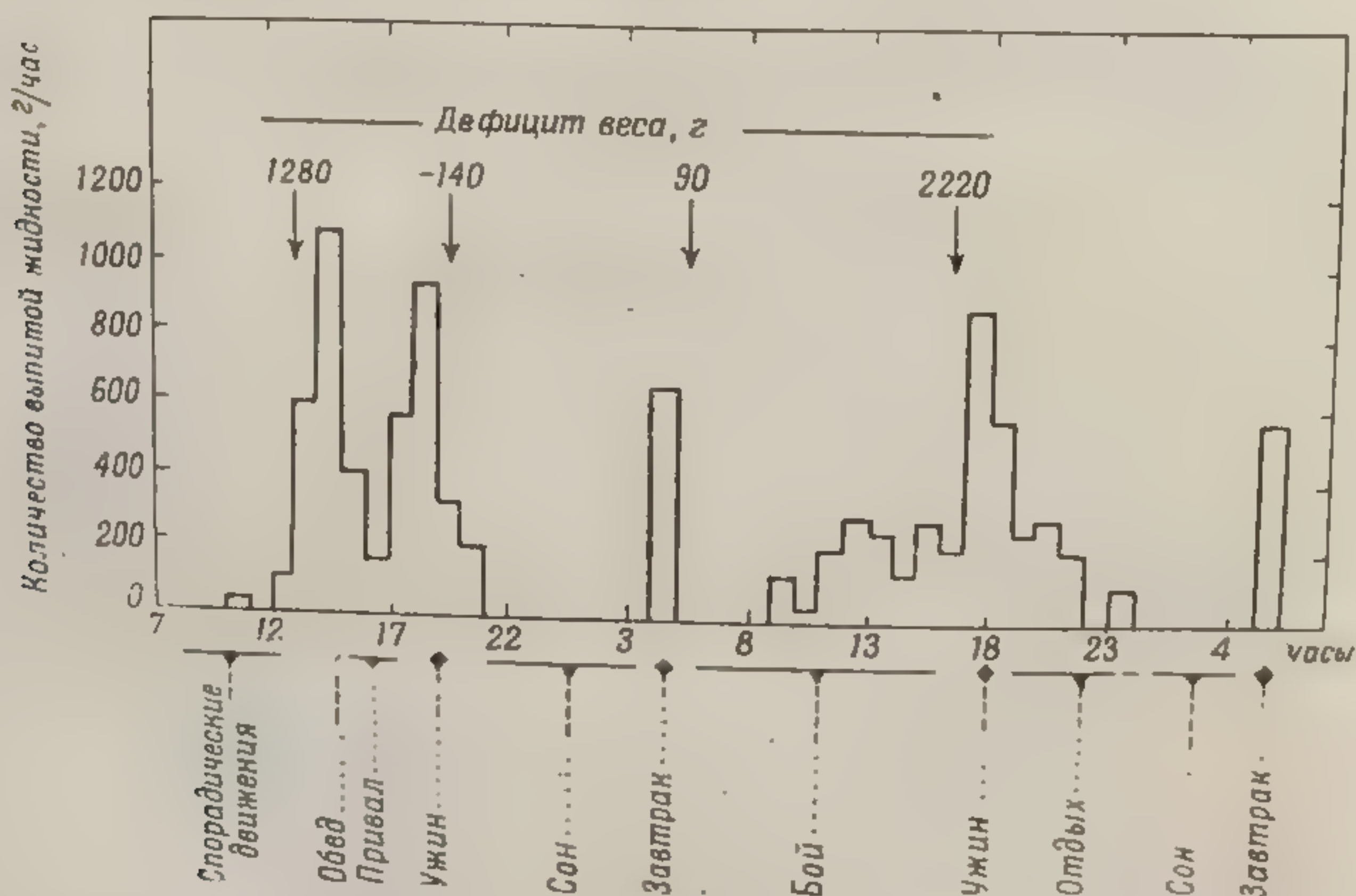
На земляных работах. Наблюдения производились на земляных работах в Блайте. Всего под наблюдением был 31 испытуемый. Рабочий день длился от 7 час. 30 мин. до 17 час. 30 мин. В 17 час. 30 мин. средняя непроизвольная дегидратация составляла 1,3% веса тела. В отдельных случаях дефицит достигал 2,7%, а дегидратация в 2% была обычным явлением.

Таблица 44

НЕПРОИЗВОЛЬНОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ВО ВРЕМЯ ПОХОДА
В ПУСТЫНЕ

Дата	Число испытуемых	Продолжительность опыта, часы	Потоотделение, кг	Количество выпитой воды, л	Отношение выпитой воды к потере воды	Водный дефицит, кг	Водный дефицит, % от исходного веса
10.IX 1942 г.	12	4,3	3,02	1,11	0,37 ¹⁾	1,91	2,6
16.IX	8	3,9	4,08	2,07	0,51	2,01	2,8
17.IX	11	4,0	3,77	1,85	0,49	1,92	2,8
18.IX	7	4,6	4,89	2,54	0,52	2,35	3,2
22.IX	20	3,3	1,94	0,55	0,28	1,39	2,0
23.IX	21	2,7	1,96	1,05	0,54	0,91	1,3
28.IX	7	5,2	4,61	4,00	0,87	0,61	0,8
30.IX	8	8,0	5,33	2,99	0,56	2,34	4,5
5.VII 1943 г.	5	3,0	3,15	1,40	0,44	1,75	2,5

¹⁾ Вода была загрязнена бензином.



Фиг. 120. Потребление жидкости экипажем танка во время маневров в пустыне.

В самолете. Мы указывали, что во время полетов в пустыне на небольших высотах (ниже 600 м) люди теряют с потом около 600 г воды в 1 час (см. фиг. 33). Несмотря на столь значительную потерю воды, люди во время полета пьют очень мало, хотя большие

самолеты снабжаются запасом воды в термосах. Во время полета на небольшой высоте (на самолете В-17) в течение 2 час. (см. табл. 8) средняя потеря веса за счет потоотделения составляла для 8 человек 1,280 л. Выпито же было в среднем только 140 г. Следовательно, непроизвольная дегидратация составляла в среднем 1,150 л, или 1,6% веса тела; только $\frac{1}{9}$ потери воды была возмещена.

В предыдущих главах перечислялись последствия обезвоживания организма. Обезвоживание вызывает напряженное состояние, которое выражается в ускорении пульса и повышении температуры тела. К симптомам дегидратации относятся общее недомогание, усталость, апатия, упадок духа и нежелание или неспособность выполнения напряженной работы. Некоторые из этих симптомов проявляются при дегидратации, соответствующей потере 2% веса тела, и мешают нормальной деятельности человека. Было показано, что непроизвольная дегидратация, равная 2—3% веса тела, является обычной в полевых условиях и что она может достигнуть даже 4,5—5% веса тела. При длительных переходах непроизвольная дегидратация являлась причиной тяжелого недомогания людей и иногда значительно ограничивала их активность.

Некоторые факторы, влияющие на непроизвольное обезвоживание организма

Величина потоотделения. При незначительном потоотделении не составляет особого труда восполнить потерю воды периодическими приемами достаточного количества жидкости. При интенсивном потоотделении человек должен для возмещения потери воды пить чаще, или выпивать сразу большое количество воды, или делать и то и другое.

Дальнейшие исследования производились нами в Блайте на строительстве ангара. Взвешивание производилось до начала работ, 7 час. 30 мин. утра; каждый раз после того, как испытуемые пили воду, они снова взвешивались, и таким образом определялось количество выпитой воды. Наблюдения продолжались до обеденного перерыва, т. е. до 17 час. 30 мин. На основании полученных данных мы вычисляли интервалы между питьем, потерю веса за счет потоотделения между приемами воды и величину потоотделения в те же периоды времени. Мы установили, что величина потоотделения значительно изменялась в разные периоды, в зависимости от активности человека, его нахождения в тени или на солнце и температуры воздуха. Таким образом, мы за 3 дня собрали данные о водном обмене у 31 испытуемого.

Полученные результаты были разделены на 3 группы по следующему принципу: слабое потоотделение (меньше 400 г/час), среднее потоотделение (400—600 г/час) и сильное потоотделение (больше 600 г/час). Данные, собранные в первую и вторую половину дня,

рассматривались отдельно. Среднее время, истекшее с момента предыдущего приема воды, и средняя потеря воды (пот) вычислялись отдельно для каждой группы (табл. 45).

Таблица 45

НЕПРОИЗВОЛЬНОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОРГАНИЗМА ПРИ РАЗНЫХ
ВЕЛИЧИНАХ ПОТООТДЕЛЕНИЯ

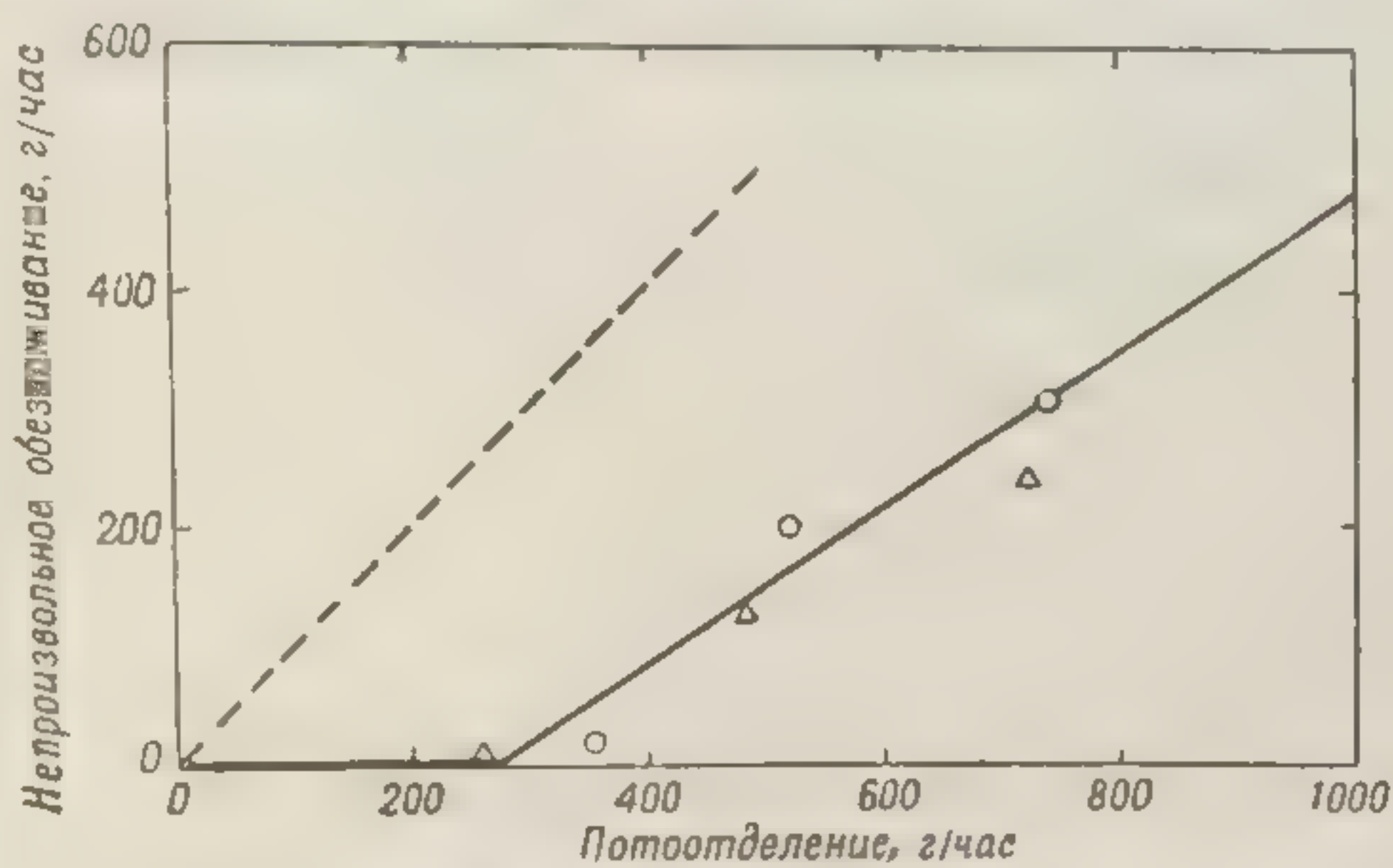
Число испытуемых	Величина потоотделения, г/часы		Время, прошедшее после приема воды, мин ¹	Потеря воды с потом за время, прошедшее после приема воды, г ¹	Количество выпитой воды, мл ¹	Водный дефицит, г ¹	Величина дегидратации, г/час ¹	Отношение выпитой воды к потере воды с потом ¹
	пределы	среднее						
Утром (средняя температура воздуха 34,4°)								
28	<400	264	83	359	341	18	13	0,95
18	400—600	478	83	617	440	177	128	0,71
10	>600	718	52	650	440	210	242	0,68
Среднее	—	414	78	495	392	103	79	—
После полудня (средняя температура воздуха 38,8°)								
14	<400	348	68	355	332	23	20	0,94
24	400—600	523	64	590	375	215	202	0,64
19	>600	737	52	616	346	270	312	0,56
Среднее	—	544	61	541	342	199	196	—

¹) Все цифры средние.

Данные этой таблицы показывают, что при интенсивном потоотделении человек пьет воду только после относительно большой потери воды. Для того чтобы компенсировать более быструю потерю жидкости, он пьет несколько чаще и выпивает несколько большее количество, но все это еще не достаточно для восполнения повышенной потери воды организмом. При слабом потоотделении потеря воды почти полностью компенсируется, а при интенсивном потоотделении не компенсируется, и вследствие этого наступает водный дефицит.

Величины потоотделения, при которых наступал водный дефицит, вычислялись из степени водного дефицита, образовавшегося за данный период времени (табл. 45). Соотношение между водным

дефицитом и величиной потоотделения выражено кривой на фиг. 121. На основании данных кривой фиг. 121 можно предсказать степень непроизвольной дегидратации, если известна величина потоотделения. Однако пользоваться этими данными можно лишь с ограничениями, ибо непроизвольная дегидратация зависит, кроме величины потоотделения, и от других факторов.



Фиг. 121. Зависимость между величиной потоотделения и непроизвольной дегидратацией (на основании данных, приведенных в табл. 45). Если бы испытуемые не пили воды, то полученная зависимость соответствовала бы пунктирной линии. Δ — утро; \circ — после полудня.

Температура воздуха. В течение 3 дней описанного выше эксперимента активность испытуемых была, как правило, одинаковой утром и после полудня. Так как температура воздуха после полудня была выше, то средняя величина потоотделения также возрастала в это время (утром 414 г/час; после полудня 544 г/час). Как и можно было ожидать, величина потоотделения, при которой наступал водный дефицит, была также выше во вторую половину дня (утром 79 г/час, после полудня 169 г/час). Таким образом, более высокая температура воздуха увеличивает непроизвольную дегидратацию, так как повышается величина потоотделения.

Вкусовые качества воды. Если вода неприятна на вкус, то люди пьют меньше и готовы выносить большую дегидратацию. Вкусовые качества воды зависят от ее температуры и содержания в ней солей. Были поставлены опыты, в которых измерялось количество различных напитков, выпиваемых испытуемыми, находившимися в состоянии небольшого водного дефицита (табл. 46). В одном опыте (A_2) испытуемые ходили в течение 2 час., после чего одна половина группы получила теплую воду ($27,7^\circ$), а другая — холодную ($12,8^\circ$). Испытуемые, получившие теплую воду, пили меньше и дегидрата-

ция у них была соответственно больше. Из наших опытов видно, что холодная вода предпочитается всем другим напиткам. Как соленая (0,1% хлористого натра), так и теплая вода (опыты А₁, Б) является в вкусовом отношении одинаково неприемлемой. Таким же образом мы испытали разные напитки (опыты В, Г, Д). Результаты показывают, что, хотя некоторые из этих напитков в течение короткого времени принимались с удовольствием, наиболее приятной оставалась холодная, чистая вода. Испытуемые, участвовавшие в этих экспериментах, говорили, что если бы они имели в своем распоряжении только соленую воду, то они бы попытались отбить вкус соли прибавлением каких-либо специй.

Еда. Люди в пустыне много пьют во время еды. Хотя непосредственно до еды жажды может и не быть, она начинает остро ощущаться во время приема пищи.

На фиг. 52 показано ежечасное поглощение жидкости одним испытуемым за 4 дня. Во время каждого приема пищи выпивалось большое количество жидкости (1 л за завтраком и такое же количество за обедом); между приемами пищи количество выпиваемой жидкости было значительно меньше (200—100 г/час); таким образом, из 5,750 л, принятых в среднем за сутки, больше половины (2,680 л) выпивалось во время трех приемов пищи. Эти наблюдения ясно говорят о том, что водный дефицит накапливается в промежутках между приемами пищи и компенсируется во время еды.

Таблица 46

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ПОСЛЕ НЕБОЛЬШОГО ВОДНОГО ДЕФИЦИТА

Число испытуемых	Температура воздуха, °C	Принимаемая жидкость и ее температура	Исходный вес, кг ¹⁾	Потеря веса через 1,5—2 часа, кг ¹⁾	Количество выпитой жидкости, г ²⁾	Дефицит после питья, г ²⁾	Отношение выпитой жидкости к потере воды ¹⁾
------------------	-------------------------	---------------------------------------	--------------------------------	--	--	--------------------------------------	--

А₁ — дефицит веса в 2% после игры в мяч

7	36,1	Вода с 0,1% соли, 12,8°	71,6	1,490	670	820	0,45
7	36,1	Вода, 12,8°	71,3	1,420	1 110	310	0,78

А₂ — 2-часовая ходьба без питья

7	39,4	Вода, 12,8°	71,6	1,540	1 350	190	0,87
7	39,4	Вода, 27,7°	71,5	1,500	1 100	400	0,75

На фиг. 120 п
воды 7 испыты
день было отм
достигло 0,9—
На второй ден
дня уже не по
взвешивались
дилось до пр
Два взвешива
90 г. Из общег
4,125 л, или 44
подтверждают
образовавшийс
еды.

Активность
Часто удавало
если стремятся
выполняют сп

Б —
оста.
5 | 40,5
5 | 40,5
В —
остальное

8 | 36,6
6 | 36,6

Г — разреши

7 | 37,2
8 | 37,2

Д —

9 | 36,1
8 | 36,1

1) Все цифры
2) Напиток п

*Б — каждый час разрешается пить в течение 10 мин.,
остальное время испытуемые сидят на солнцепеке (30 июня)*

5	40,5	Вода, 19°	71,2	1,530	1 180	350	0,77
5	40,5	Вода, 42,8°	76,7	1,370	695	695	0,51

*В — каждые 2 часа разрешается пить в течение 10 мин.,
остальное время испытуемые сидят на открытом воздухе (6 июля)*

8	36,6	Вода температуры воздуха .	74,1	0,465	303	162	0,53
6	36,6	Апельсиновый сок температу- ры воздуха ²⁾	72,9	0,411	250	161	0,61

Г — разрешается питье в конце 1,5-часовой игры в бейзбол (5 июля)

7	37,2	Теплый виноградный сок ²⁾ .	74,0	0,804	620	184	0,77
8	37,2	Теплая вода	73,0	0,775	669	79	0,90

*Д — разрешается пить в конце 1,5-часового пребывания
на открытом воздухе (29 июня)*

9	36,1	Ледяной виноградный сок ²⁾ .	72,3	0,658	633	25	0,96
8	36,1	Ледяной лимонный сок ²⁾ . .	76,7	0,796	725	71	0,91

¹⁾ Все цифры средние.

²⁾ Напиток приготовлен из порошкообразного концентрата.

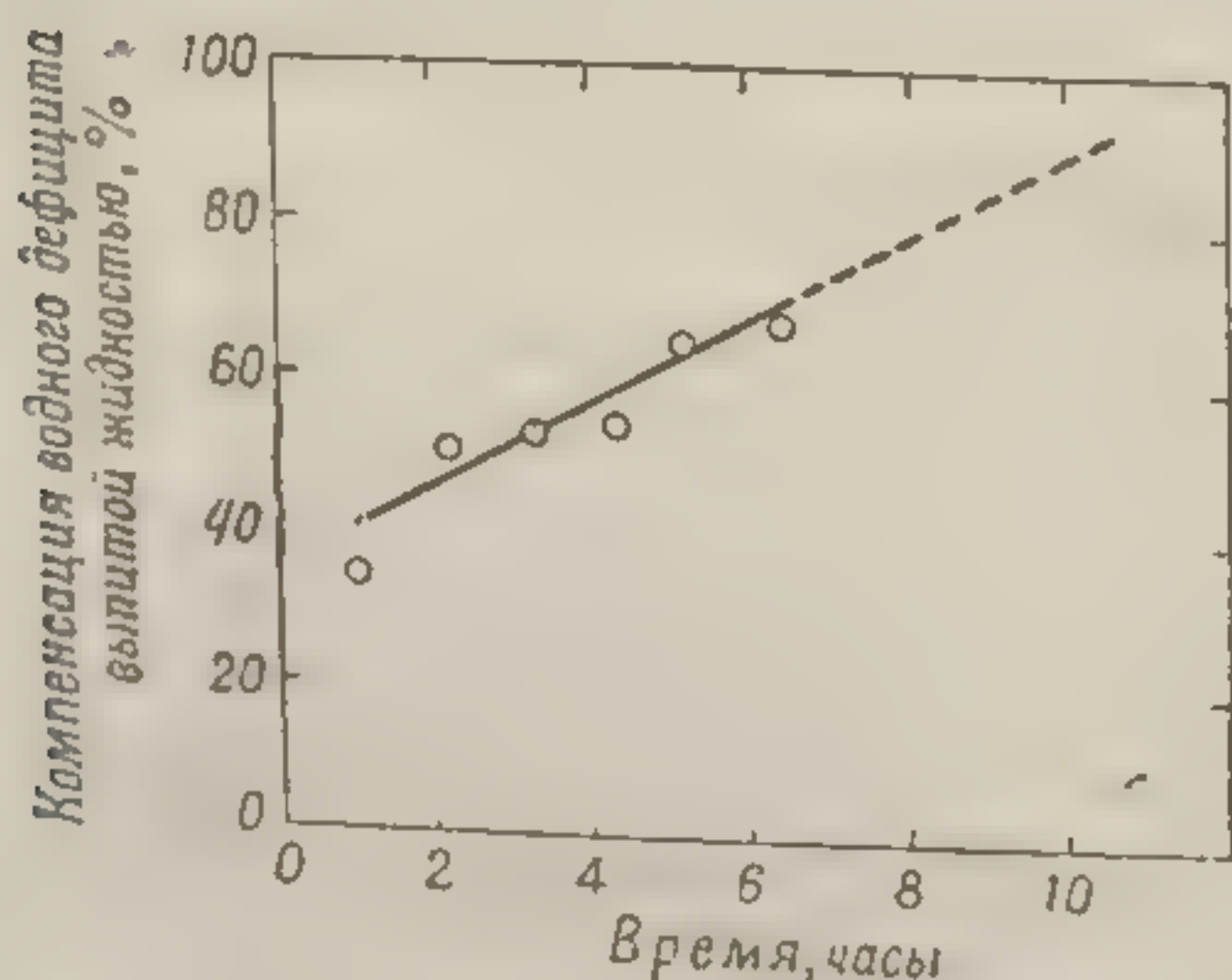
На фиг. 120 приведены средние количества ежечасно выпиваемой воды 7 испытуемыми в течение 48 час. маневров в танках. В первый день было отмечено два максимума, когда количество выпитой воды достигло 0,9—1 л/час; это происходило во время обеда и ужина. На второй день испытуемые не обедали и первый максимум в 12 час. дня уже не повторился. Для определения потери веса испытуемые взвешивались 4 раза. В 2 случаях, когда взвешивание производилось до приема пищи, потеря веса составляла 1,280—2,220 л. Два взвешивания после еды показали прибавление 140 и потерю 90 г. Из общего количества жидкости, выпитой за 48 час. (9,400 л), 4,125 л, или 44%, было выпито во время приема пищи. Эти данные подтверждают наше предположение о том, что водный дефицит, образовавшийся между приемами пищи, компенсируется во время еды.

Активность. Люди пьют значительно меньше, когда они заняты. Часто удавалось наблюдать, что люди надолго откладывают питье, если стремятся закончить какую-нибудь работу до обеда или если выполняют спешную работу. Во время форсированных походов

с 10-минутным ежечасным отдыхом люди пьют больше всего во время отдыха. Люди, находящиеся в активном движении, или в грузовике и танке, меньше обращают внимания на свои ощущения, чем люди, сидящие в тени и пьющие без ограничений. Кроме того, физическая активность вызывает большее потоотделение, которое само по себе увеличивает водный дефицит. Таким образом, при чрезмерной активности непроизвольная дегидратация усиливается, а при покое уменьшается.

Доступность воды. Усилия, которые требуется затратить для получения питьевой воды, также влияют на степень непроизвольной дегидратации. Человек, вынужденный для получения воды пройти около 300 м по песку, будет реже пить и потреблять меньше воды, чем человек, имеющий при себе флягу с водой. Если человек должен предварительно прокипятить воду, то он доведет себя до большей степени непроизвольной дегидратации, чем человек, имеющий в своем распоряжении чистую воду, вполне пригодную для питья. Любая физическая нагрузка, особенно в пустыне, является препятствием для питья.

Обезвоживание. Выше сообщалось, что в некоторых условиях в организме людей, выделяющих больше 300 г пота в 1 час, потеря жидкости не возмещается, в результате чего возникает непроизвольный водный дефицит. У человека



Фиг. 122. Влияние прогрессирующего обезвоживания организма на количество выпиваемой воды. Каждый кружок обозначает одно определение.

во время ходьбы в пустыне выделяется 1 л пота в 1 час и возмещается лишь 50% теряемой жидкости (см. табл. 44). Если человек вынужден находиться в таких условиях в течение длительного времени, то у него может быстро наступить состояние дегидратационного истощения. Однако в организме человека имеется компенсаторный механизм, и, когда водный дефицит нарастает, чувство жажды заставляет его хотя отчасти покрывать потерю жидкости питьем. Следующий эксперимент иллюстрирует это явление.

Испытуемые ходили в течение нескольких часов подряд с еже-часными перерывами примерно в 10—15 мин. Они пили без ограничения из фляг, ежечасно наполняемых вновь. Вес тела и количество питьевой воды определялось после каждого часа ходьбы (фиг. 122 и табл. 47). В течение первого часа компенсировалось

Соль. Выказ...
е, достаточном д...
ить непроизвол...
жения мы пров...
каждая, количес...
Вес тела, количес...
ежечасно...
Все члены одной...
личестве, достат...
193 А. Адольф

только 34% потери воды; в течение каждого последующего часа возмещался больший процент убыли, так что через 6 час. похода компенсация составляла приблизительно 70%. Средняя величина потоотделения во время этого эксперимента составляла около 1 л/час; общий дефицит к концу эксперимента равнялся 2,340 кг, или 4,5% веса тела. Так как наибольшее возмещение потери жидкости происходило при водном дефиците в 5% веса тела, то можно считать, что непроизвольная дегидратация, равная 5%, является максимумом, который можно ожидать в течение дня. Нам приходилось, однако, наблюдать непроизвольную дегидратацию, достигавшую даже 5,3% веса тела. Наступление коллапса можно предотвратить, но большой водный дефицит не компенсируется сразу; обычно для этого требуется 1—2 приема пищи и ночной сон. Этот факт имеет особое значение в тех случаях, когда в пути редко встречаются источники воды. Для восстановления водного баланса необходимо предоставлять людям достаточное количество времени, ибо их жажда временно утоляется еще до восстановления нормального содержания воды в организме. Мы находим, что 15—20-минутный отдых, предоставляемый людям для утоления жажды и вторичного наполнения опустевших фляжек, не достаточен для восстановления водного баланса.

Таблица 47

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ПОТООТДЕЛЕНИЯ ВЫПИВАЕМОЙ ВОДОЙ
ВО ВРЕМЯ ПОХОДА

	1-й час	2-й час	3-й час	4-й час	5-й час	6-й час
Число испытуемых	58	53	34	39	19	15
Пределы компенсации, % ¹⁾	12—51	22—84	40—66	27—108	54—82	58—77
Средняя компенсация, %	34	50	53	54	64	68

¹⁾ Процент потери воды, выделяемой с потом за 1 час и возмещенной питьем без ограничения в течение этого часа (среднее из 2—6 опытов).

Соль. Высказывалось мнение, что потребление соли в количестве, достаточном для возмещения ее потери с потом, может уменьшить непроизвольную дегидратацию. Для проверки этого предположения мы провели опыт в полевых условиях. Две группы, по 5 человек каждая, были помещены в условия одинакового режима. Вес тела, количество выпитой жидкости и выделяемой мочи определялись ежечасно с 9 до 16 час. Пить разрешалось без ограничения. Все члены одной группы получали ежечасно таблетки соли в количестве, достаточном для компенсации соли, израсходованной

с потом (принималось, что концентрация хлористого натрия в поте составляет в среднем 0,25%) [1]. Материалы табл. 48 показывают, что при компенсации потери соли увеличивается количество выпиваемой воды и уменьшается мочеотделение. Однако статистический анализ этих данных показывает, что разница не может считаться достоверной.

Таблица 48

ВЛИЯНИЕ ПРИЕМА СОЛИ НА КОЛИЧЕСТВО ВЫПИВАЕМОЙ ВОДЫ И ВЫДЕЛЯЕМОЙ МОЧИ¹,

Число испытуемых	Количество съеденной соли, г	Общее мочеотделение, г	Общее количество выпитой жидкости, г	Дефицит веса тела, г	Общее количество выделенной мочи, мл	Удельный вес мочи
5	0	4 840	4 240	600	306	1,026
5	4,7	4 660	4 770	110	204	1,027

¹) Средние цифры для каждой группы в 5 человек.

Простые вычисления показывают, что при выделении соли с потом затрачивается меньше половины того количества воды, недостаток которого обуславливает произвольную дегидратацию. Наш опыт заставляет предполагать, что приемом избытка соли можно до некоторой степени избежать произвольной дегидратации, но это не означает, что последняя вызывается недостатком соли.

Жажда как показатель обезвоживания организма

Данные об изменении веса тела в пустыне говорят о том, что люди сохраняют свое весовое равновесие только после приема пищи. В промежутках между приемами пищи люди не испытывают жажды даже в тех случаях, когда имеет место дефицит веса тела. Это положение иллюстрируется следующим опытом.

14 испытуемых были взвешены вскоре после завтрака. После этого они играли в мяч или сидели на солнцепеке до тех пор, пока потеря в весе тела становилась больше 2%. Затем им разрешалось выпить некоторое количество воды для того, чтобы довести дефицит в весе точно до 2%. Такая процедура повторялась каждый час, причем испытуемым не разрешалось пить больше, чем нужно для доведения дефицита веса тела до 2%. В течение первых часов испытуемые выпивали все количество воды, которое им давалось, и продолжали жаловаться на жажду. Однако через 4—5 час. они уже не ощущали жажды при водном дефиците в 2% веса тела. Через 7 час. им было разрешено в течение 30 мин. пить без ограничения;

к концу этого
Таким образом
ду при 2-м
времени от
уже не вызы
В дальней
вого пребыва
тела было раз
треблении жид
слабый аппети
показано, что
эксперимент по
количество съ

Иногда недо
людей, не прив
иллюстрирует
7 час. (5 перехо
должны были
бы наступившу
ограничения. Д
выпили всей пр
группе наблюда
пивших без огр
было потеряно з
лено заметной р
са, ректальная
бе) испытуемых
Как вышепр
люстрирующие
что в условиях
лем водного ба

Принудительн

Критерий в
ный баланс оп
нием, т. е. небо
турой и умерен
казывают, что л
ному пью, бо
рые пьют до ут
В настоящем
весе тела как к
определить точн
ланса служат:
19*

к концу этого периода средний водный дефицит составлял 2,5%. Таким образом, если испытуемые вначале ощущали сильную жажду при 2-процентном дефиците веса тела, то постепенно с течением времени ощущение жажды исчезало и через 7 час. дефицит в 2,5% уже не вызывал чувства жажды.

В дальнейшем ходе этого эксперимента испытуемым после 3-часового пребывания в состоянии более 2-процентного дефицита веса тела было разрешено позавтракать при том же ограниченном потреблении жидкости. В этих условиях испытуемые проявили весьма слабый аппетит и в среднем каждый съел всего по 36 г. Выше было показано, что питье воды тесно связано с приемом пищи; настоящий эксперимент показывает, что при ограничении в воде уменьшается количество съедаемой пищи.

Иногда недооценивается трудность принудительного питья для людей, не привыкших к этому. Опыт, проведенный 5 августа 1943 г., иллюстрирует это положение. 13 испытуемых ходили в течение 7 час. (5 переходов по 40 мин.) Из них 6 в принудительном порядке должны были выпить такое количество воды, которое возместило бы наступившую у них убыль в весе тела; остальные 7 пили без ограничения. Двое из первой группы, несмотря на уговоры, не выпили всей предназначенной им воды, так что в среднем в этой группе наблюдалась бо́льшая потеря в весе (1,4%), чем в группе пивших без ограничения (0,7%). Между тем около 5,7% веса тела было потеряно за счет потоотделения. В результате не было установлено заметной разницы в физиологическом состоянии (частота пульса, ректальная температура, мочеотделение, способность к ходьбе) испытуемых обеих групп.

Как вышеприведенные, так и другие литературные данные, иллюстрирующие явление непроизвольной дегидратации, показывают, что в условиях пустыни жажда не является наилучшим показателем водного баланса, учитываемого по дефициту веса тела.

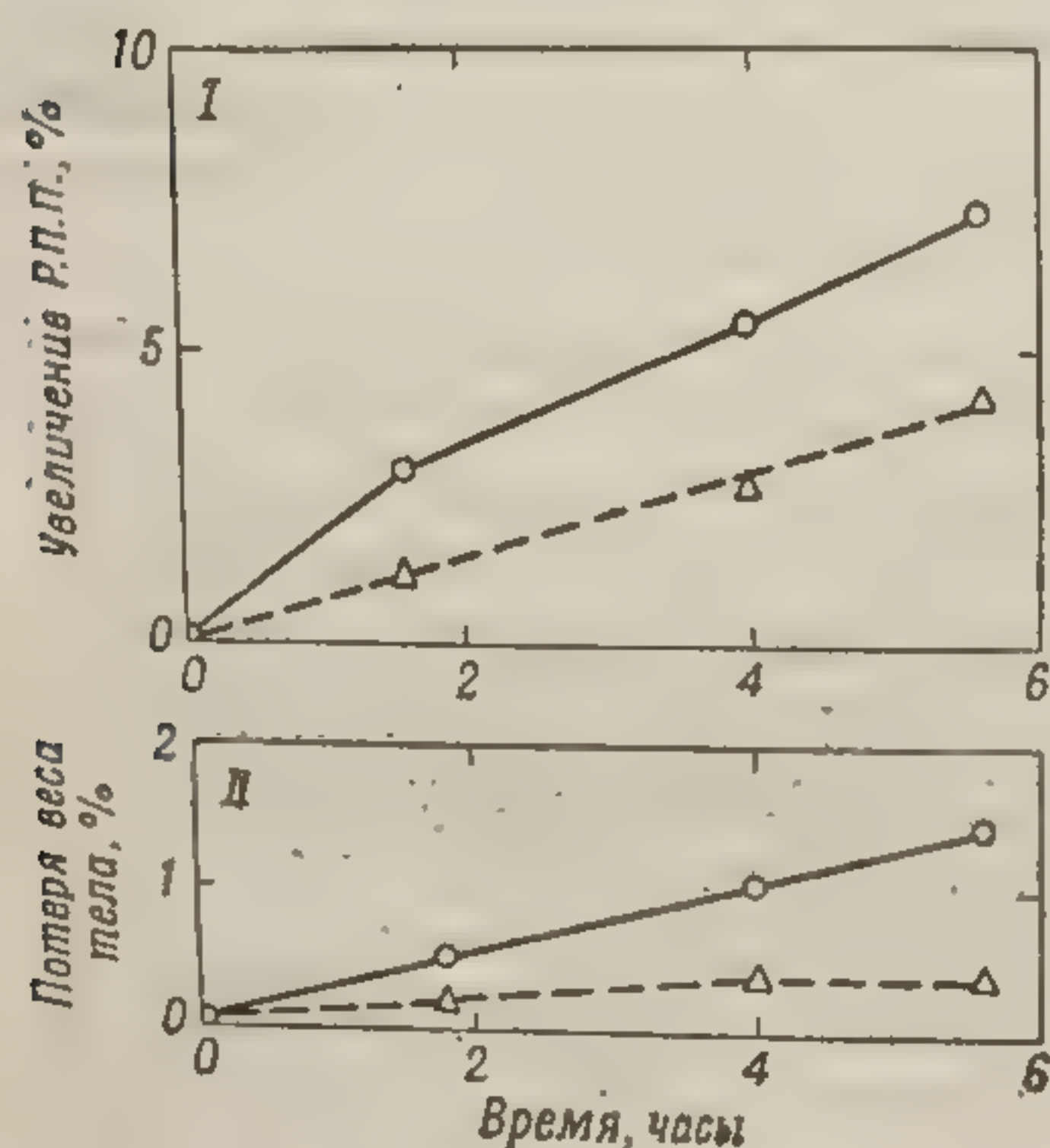
Принудительное питье — средство против непроизвольного обезвоживания

Критерий водного баланса. Мы считаем, что нормальный водный баланс определяется оптимальным физиологическим состоянием, т. е. небольшой частотой пульса, низкой ректальной температурой и умеренным мочеотделением. Литературные данные [2] показывают, что люди, сохраняющие свой вес благодаря принудительному питью, более дееспособны в жаркой атмосфере, чем те, которые пьют до утоления жажды.

В настоящем исследовании мы пользовались изменениями в весе тела как критерием водного баланса, так как вес тела легко определить точно. Другими возможными критериями водного баланса служат: диурез, постоянство концентрации плазмы и коли-

чество добровольно выпиваемой жидкости. Эксперименты с использованием этих критериев описаны ниже. Они подтверждают наше убеждение в том, что вес тела является наиболее удобным индикатором водного баланса.

Целью нижеследующих опытов было выяснение того, задерживается ли в организме избыточное количество воды, выпитое принудительно после утоления жажды. В противном случае должно выделяться избыточное количество мочи с низким удельным



Фиг. 123. Среднее увеличение концентрации сыворотки (I) и потери веса тела (II) при непроизвольной дегидратации и принудительном приеме воды. Сплошная линия — непроизвольная дегидратация; пунктирная линия — принудительный прием воды.

В этих же опытах было показано, что сыворотка крови становится более концентрированной как при непроизвольной, так и при принудительной дегидратации. Через 4 одинаковых интервала времени мы брали пробы крови у испытуемых, находившихся в течение 5 час. в состоянии покоя и интенсивного потоотделения (всего 7 опытов). Повышение концентрации плазмы сравнивалось с повышением концентрации в контрольных опытах (5 опытов), в которых вес тела восстанавливался каждые полчаса приемом определенного количества жидкости. В контрольных опытах разница между показателями преломления сыворотки несколько повышалась (фиг. 123); но еще больше она возрастала в периоды питья без ограничения. Сравнивая процентное повышение разницы между показателями преломления, обусловленное изменением содержания

весом. В тепловой камере был проведен в течение 8 дней 21 эксперимент на 12 испытуемых. За 5—12 час. интенсивного потоотделения эти испытуемые выпивали точно измеренное количество воды, которое через 30—90 мин. восстанавливало у них исходный вес тела. В 17 экспериментах (из 21) полиурия не наступала. В остальных 4 наступала умеренная полиурия, составлявшая в среднем 460 мл. Отсюда следует, что из 4 000 мл выпитой воды максимум 460 мл можно считать избыточно принятым количеством. Практически количество воды, обычно содержащейся в организме, повидному, никогда не является излишним для людей в состоянии непроизвольной дегидратации; это заставляет нас предполагать, что последняя является результатом некоторого пока еще не совсем ясного процесса торможения жажды.

растворенных
ла, мы нашли
отношение ра
которое было
(см. главу X).

На основании
ция сыворотки
личивается. Ст
ду, и водный ба
ки изменяется
дефицита. Отсу
Поэтому ясно,
нормально, ибо
ды и действием
непроизвольная
требления воды

Интересно от
наружена у ла
[4] дегидратаци
наблюдение под
чение некоторог
в количестве, к
у человека и к

Способы ум
питье тесно свя
нужды пренебре
приятной на б
предоставлено
при этом споко
тельного задани
Необходимо из
обходимой. Сле
личестве, чем

В итоге мы
зультате потоот
жажды неадекват
этом непроизв
(судя по измене
центрации пла
доступности во
пьет воду в гор
быток воды не
благоприятно,
Только таким
эической а

растворенных в плазме веществ, с процентным дефицитом веса тела, мы нашли, что отношение между ними равно примерно 3. Это отношение равно отношению между этими же двумя инкрементами, которое было отмечено для умеренной и крайней дегидратации (см. главу X).

На основании этого мы приходим к заключению, что концентрация сыворотки крови во время непроизвольной дегидратации увеличивается. Следовательно, сыворотка, повидимому, потеряла воду, и водный баланс организма нарушился. Концентрация сыворотки изменяется параллельно весу тела, являясь показателем водного дефицита. Отсутствие полиурии приводит к такому же заключению. Поэтому ясно, что прекращение поступления воды в организм ненормально, ибо оно нарушает согласованность между притоком воды и действием других регуляторов водного обмена. Таким образом, непроизвольная дегидратация есть результат торможения как потребления воды, так и ощущения жажды.

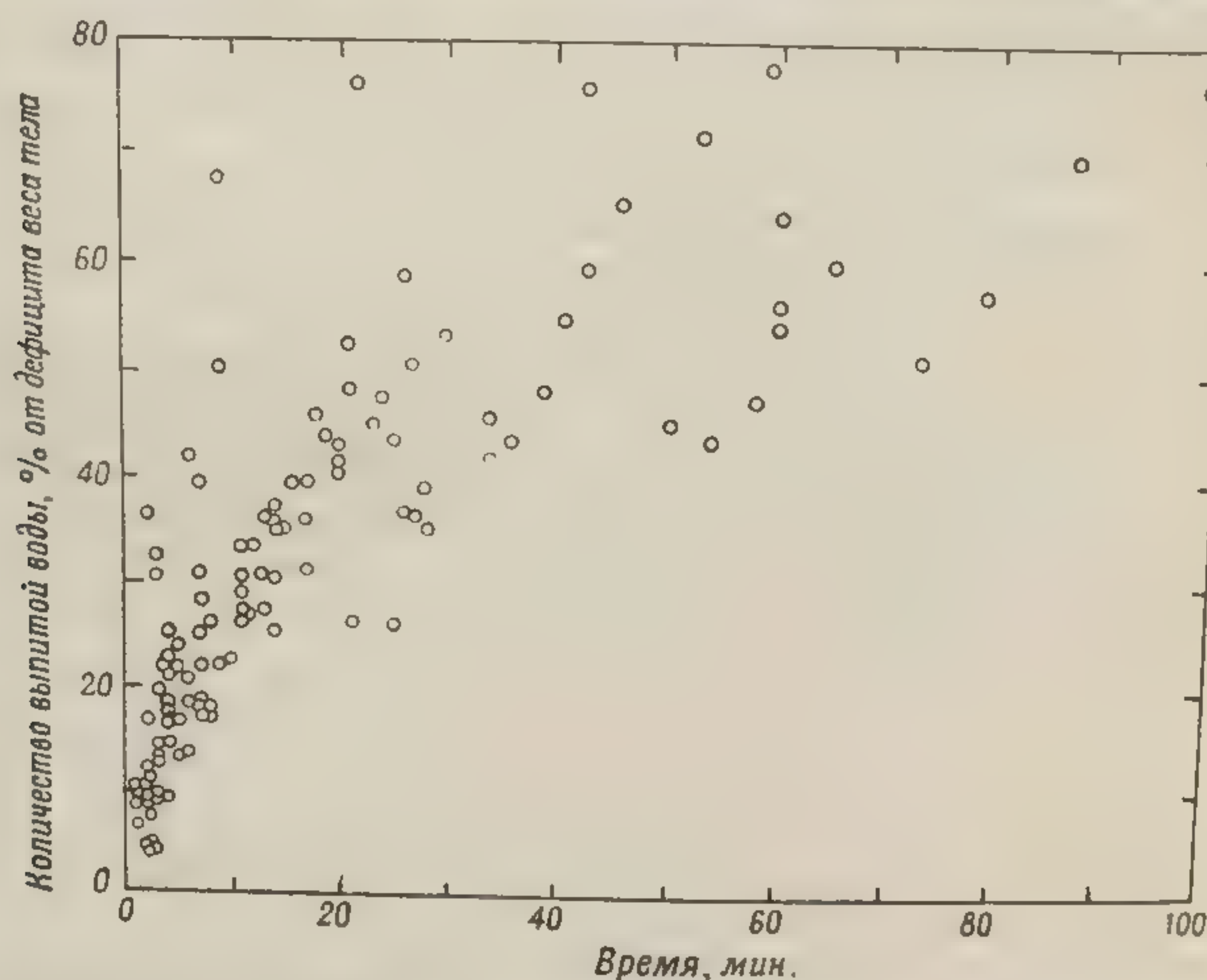
Интересно отметить, что непроизвольная дегидратация была обнаружена у лабораторных крыс, лишенных пищи [3]. У собак [4] дегидратация менее значительна, чем у крыс и человека. Это наблюдение подтверждается тем фактом, что после лишения в течение некоторого времени воды собака затем быстро выпивает воду в количестве, компенсирующем водный дефицит, между тем как у человека и крысы этого не происходит.

Способы уменьшения непроизвольной дегидратации. Так как питье тесно связано с приемом пищи, то последним не следует без нужды пренебрегать. По возможности следует всегда иметь запасы приятной на вкус воды. Для приема пищи людям должно быть предоставлено достаточное количество времени, чтобы они могли при этом спокойно утолить и жажду. Во время выполнения длительного задания следует назначать короткие перерывы для отдыха. Необходимо избегать нагрузки, не являющейся, безусловно, необходимой. Следует побуждать людей выпивать воду в большем количестве, чем им самим хочется.

В итоге мы можем сказать, что более быстрая дегидратация в результате потоотделения происходит в тех случаях, когда ощущение жажды неадекватно степени водного дефицита. Наступающая при этом непроизвольная дегидратация физиологически эквивалентна (судя по изменениям частоты пульса, ректальной температуры и концентрации плазмы) дегидратации, наступающей в результате недоступности воды при наличии жажды. Поэтому, когда человек пьет воду в гораздо большем количестве, чем ему хочется, этот избыток воды не оказывается излишним. Человек поступает вполне благоразумно, если привыкнет во время работы пить много и часто. Только таким образом можно наверняка избежать уменьшения физической активности.

Восстановление водного баланса в организме

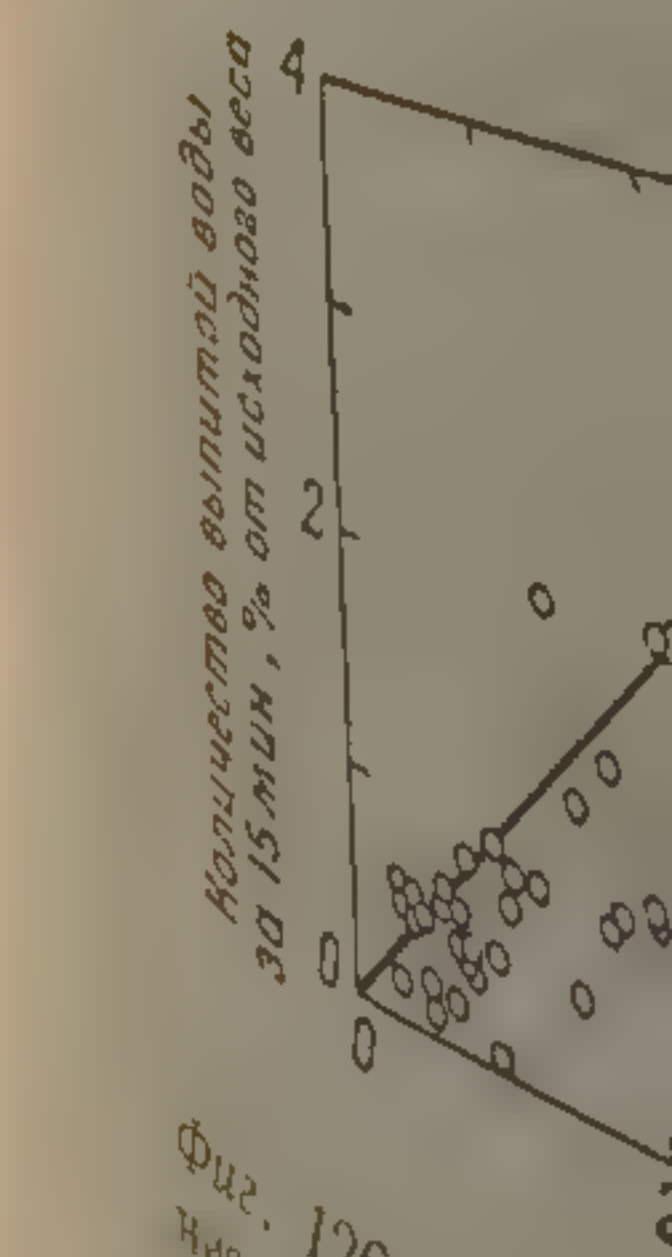
Данные о том, каким образом у человека в условиях пустыни при приеме питьевой воды происходит восстановление водного баланса после дегидратации, были нами собраны как непосредственно в самой пустыне, так и в тепловой камере. Дегидратация вызывалась у испытуемых ходьбой в пустыне или упражнением на эргометрическом велосипеде в тепловой камере. После этого им давалась холодная вода для питья и точно учитывалось ее потребление. В не-



Фиг. 124. Потребление воды во время обезвоживания организма в тепловой камере (данные наблюдений на 11 испытуемых). Каждый кружок обозначает одно определение.

которых случаях сравнивалось количество воды, выпиваемое в конце опыта испытуемыми во время похода в пустыне, лишенными воды, и испытуемыми, снабженными водой в достаточном количестве.

Потребление воды в конце периодов дегидратации в пустыне и в тепловой камере изображено на фиг. 124 и 125. Обе кривые показывают, что процесс восстановления водного баланса протекал в обоих случаях, в общем, весьма сходно. Однако потребление воды было несколько больше в пустыне, чем в тепловой камере. В обоих случаях около половины всего количества воды, выпитой в течение 1 часа, приходилось на первые 15 мин. Поэтому для дальнейшего изучения соотношения между дефицитом веса тела и количеством выпитой воды использовались данные, полученные во время первых 15 мин. восстановления водного баланса.

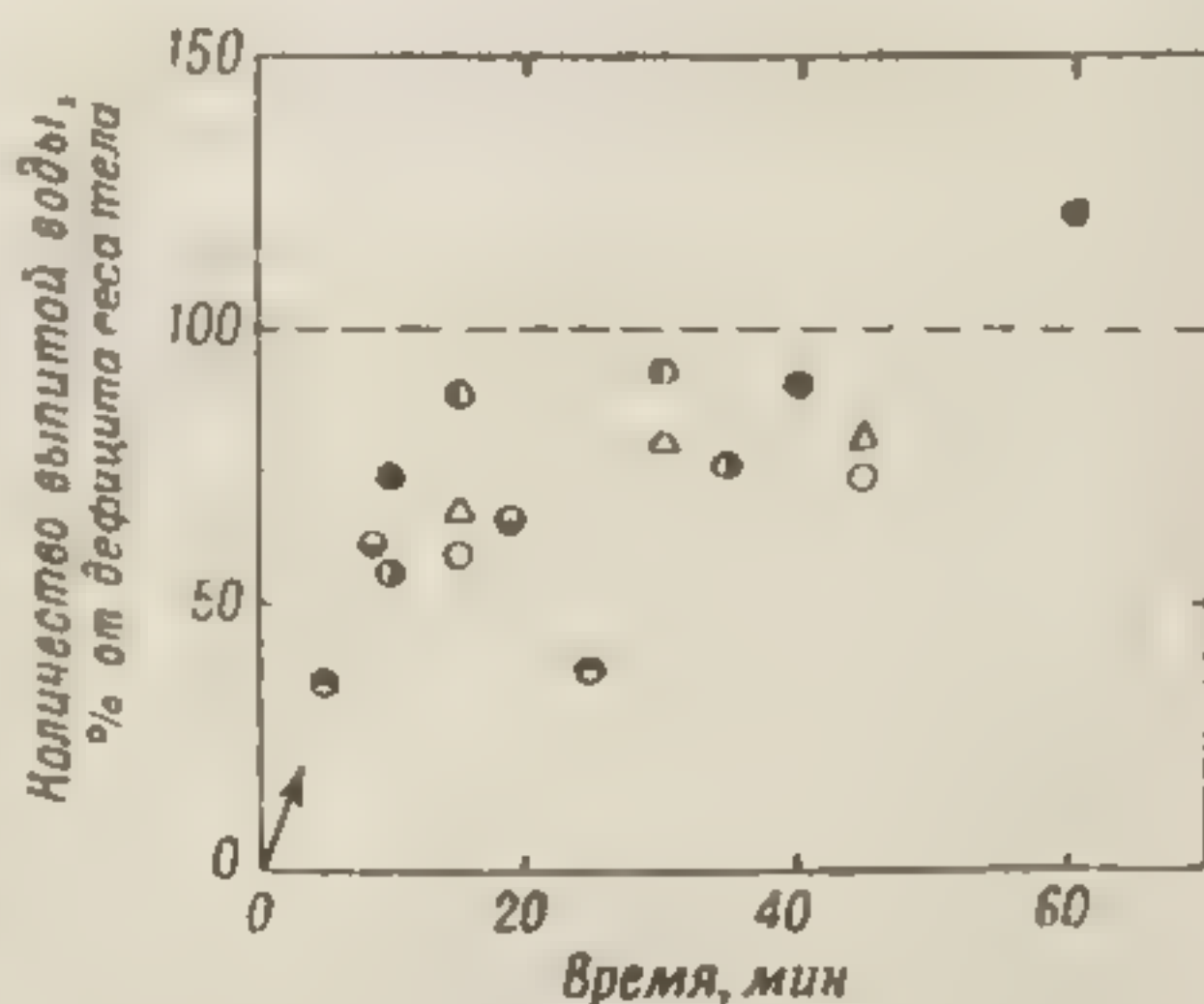


Фиг. 126. Зависимость первых 15 мин. потерей веса тела от количества выпитой воды равно потерям.

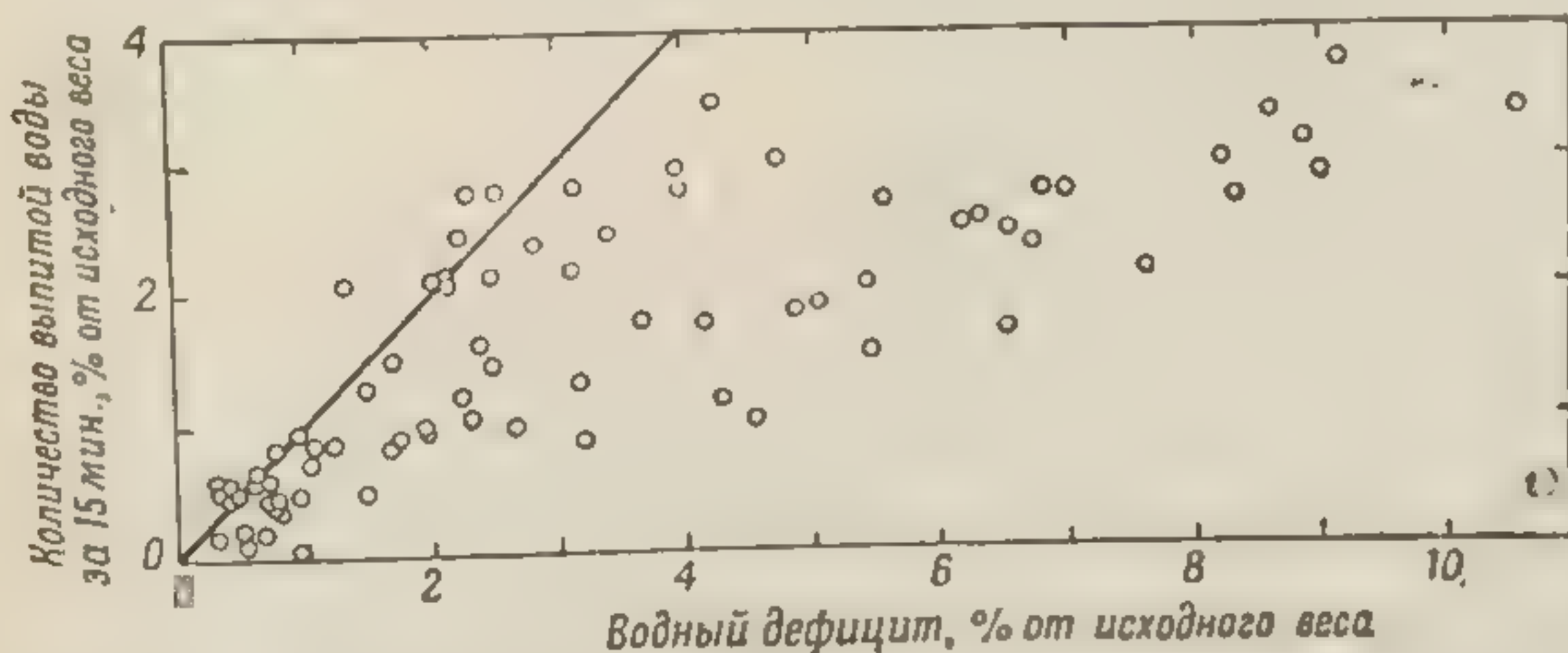
Видны также средние значения до следующего периода, совершенного в избытке.

На фиг. 126 показано количество воды, выпитой 20 испытуемыми (83 опыта) за первые 15 мин. после лишения воды, приведшего их к различной потере веса тела. Ясно, что при незначительном водном дефиците количество выпитой воды близко к величине дефицита веса тела. Если же водный дефицит превышает 2%, то отношение между количеством выпитой воды и дефицитом веса тела начинает прогрессивно уменьшаться. Возможно, что при более высокой степени дегидратации фактором, ограничивающим быстрое возмещение водного дефицита в организме, будет вместимость желудка. Тем не менее мы видели, что некоторые испытуемые выпивали в течение 10 мин. 2 л воды.

В табл. 49 приведены данные двух опытов, в которых две группы испытуемых совершили поход в пустыне, причем одна группа во время похода пила без ограничения, а другая была совершенно лишена воды. В таблице показан средний дефицит веса тела у испытуемых обеих групп к концу похода и на следующее утро; при-



Фиг. 125. Потребление воды во время обезвоживания организма в пустыне. Каждый значок обозначает среднее для 10 испытуемых; одинаковые значки — данные, полученные в одном эксперименте.



Фиг. 126. Зависимость между количеством воды, выпитой в течение первых 15 мин. после обезвоживания в тепловой камере, и потерей веса тела. На уровне прямой количество выпиваемой воды равно потере веса тела. Каждый кружок обозначает одно определение.

ведены также средние скорости потребления воды за время с конца похода до следующего утра. Эти данные ясно показывают, что люди, совершенно лишённые воды во время похода, потребляли наибольшее количество ее в первые часы восстановления водного

баланса. И действительно, через 2 часа после окончания похода дефицит веса тела у испытуемых обеих групп понизился примерно одинаково (табл. 50).

Длительность пребывания на жаре и в состоянии дегидратации также оказывает определенное влияние на количество воды, выпитой к концу опыта. Мы заставили испытуемых ходить в течение некоторого времени без воды, а затем разрешали им пить до насыщения. После этого они снова продолжали ходьбу без воды, а затем им снова было разрешено пить сколько угодно (табл. 51).

Из этих данных видно, что люди после второй дегидратации выпивали гораздо меньше воды (по отношению к количеству потерянной организмом воды), чем после первой; это указывает на возможность адаптации к отсутствию воды, как отмечалось выше.

Все вышеприведенные данные показывают, что хотя после дегидратации вода выпивается быстро, однако для полного восстановления веса тела требуется значительный период времени. После марша в пустыне в течение 1—2 час. без воды требуется не более 15—20 мин. для удовлетворительного восстановления содержания воды в организме. При таком же марше в течение 4 час., для той же цели потребовалось бы, по меньшей мере, 45 мин.

Таблица 49

РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ
ВОДНОГО БАЛАНСА

Условия опыта и дата	Пройденное расстояние, км	Число испытуемых	Время дня	Водный дефицит, % от исходного веса тела	Количество выпитой воды в 1 час ²⁾ , % от исходного веса тела
С водой 17.IX 1942 г.	14,4	7	15 час. 45 мин.	3,08	—
» » 18.IX			18 » 18 »	—	0,81
» » 18.IX			8 » 00 »	1,08	0,25
Без воды 17.IX 1942 г.	14,4	7	15 » 45 »	4,07	—
» » 18.IX			16 » 10 »	—	7,66
» » 18.IX			18 » 10 »	—	0,84
С водой 18.IX 1942 г.	22,5	5	8 » 00 »	0,33	0,43
» » 18.IX 1942 г.			16 » 47 »	3,29	—
» » 19.IX			18 » 30 »	—	0,81
Без воды 18.IX 1942 г.	22,5	5	8 » 15 »	1,40	0,11
» » 19.IX			16 » 43 »	6,20	—
» » 19.IX			18 » 10 »	—	2,37
			8 » 10 »	1,49	0,11

1) Ходьба началась в 12 час. 45 мин.; обед в 18 час.

2) Среднее из количества воды, выпитой за время, прошедшее от часа, указанного в предыдущей строке до часа, указанного в той же строке, в которой находится данная средняя величина.

Таблица 50

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА
ЧЕРЕЗ 2 ЧАСА ПОСЛЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОРГАНИЗМА

Условия опыта	Число испытуемых	Средний дефицит веса, % от исходного веса тела	
		к концу ходьбы	спустя 2 часа
С водой . . .	4	1,02	0,52
Без воды . . .	11	3,43	1,00

Таблица 51

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА ПОСЛЕ
ДЕГИДРАТАЦИИ РАЗНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Число испытуемых	Продолжительность дегидратации, мин	Средний дефицит веса, % от исходного веса тела	Среднее количество выпитой воды, % от дефицита веса тела
11	71	0,99	105
11	148	1,02	78
9	67	1,14	133
9	170	1,56	99
6	131	1,90	123
6	362	2,52	36
7	131	1,59	113
7	362	2,79	40

Выше уже обсуждались условия, необходимые для сохранения удовлетворительного содержания воды в организме. Соблюдение тех же условий необходимо и для борьбы с обезвоживанием организма. Таким образом, если в наличии имеется только теплая вода, то людям следует предоставить больше времени для питья, чем в том случае, когда имеется холодная вода; причем нужно заставить их выпить больше, чем им хочется. После первоначального периода восстановления водного баланса человека следует принуждать много пить и есть в обычные часы, так как прием пищи стимулирует жажду.

Процесс восстановления водного баланса изучался также на лабораторных животных, помещенных в атмосферные условия пустыни. Животные были лишены воды, а потоотделение у них стимулировалось действием высокой температуры. Через несколько часов им давалась вода в неограниченном количестве (температура окру-

жающей среды иногда оставалась высокой, а иногда понижалась до умеренной).

Животные разных видов выпивали различные количества воды (табл. 52). Собаки сразу же компенсировали большую часть своего водного дефицита. Кошки и кролики в течение получаса компенсировали около половины дефицита. Морские свинки и крысы редко выпивали предложенное им количество воды.

Таблица 52
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА ЧЕРЕЗ 30 МИН. ПОСЛЕ
ДЕГИДРАТАЦИИ ПРИ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

	Число	Продолжи- тельность опыта, часы	Темпера- тура, °C	Средний дефицит, % от ис- ходного веса тела	Отношение количества выпитой воды к ее дефициту
Человек	22	5—10	46—52	5	0,51
Собака	16	5—17	46—54	11	0,84
Кошка	20	5—16	46—56	15	0,50
Кролик	18	6—8	40	5	0,42
Морская свинка	7	5—8	42	7	0,05

Почему реакции животных столь различны? Ответить на этот вопрос мы еще не можем. Когда вода дается вместе с пищей, то восстановление водного баланса у всех видов животных наступает быстро. Возможно, что более крупные животные с большим запасом воды в организме меньше зависят от приема пищи для восстановления нормального содержания воды. Если это так, то человек составляет исключение.

Отношение количества выпитой воды к дефициту веса изменяется параллельно величине дефицита лишь в узких пределах. Но когда дефицит превышает количество воды, которое животное в состоянии принять, то это соотношение уменьшается. Работа иногда препятствует приему воды; в какой мере этому может препятствовать появление тошноты — неизвестно.

Восстановление водного баланса после незначительной дегидратации, произошедшей при обычной температуре вследствие отсутствия воды, варьирует, как известно, у разных видов в аналогичной степени [5]. В течение первого получаса после предложения воды собаки выпивают наибольшее количество воды, кролики несколько меньше, крысы еще меньше и, наконец, меньше всего выпивает человек.

Чем бы ни регулировалось количество воды, выпиваемой после дегидратации, потребность в воде количественно различна у животных разных видов. Все животные ощущают потребность в восстановлении нормального содержания воды в организме, но они

в разной степени нуждаются для этого в пище. Бесполезно было бы делать какие-либо общие выводы из поведения животных того или иного вида; повидимому, человек в этом отношении значительно не отличается от животных.

Выводы

У человека в пустыне, даже при наличии воды, происходит обезвоживание организма. Это явление носит название «непроизвольной дегидратации». У человека она наступает в периоды между приемами пищи, так как дефицит жидкости компенсируется во время еды.

Непроизвольная дегидратация, определявшаяся в полевых условиях у людей, находящихся в походе, на земляных работах, в танках и на самолетах, часто превышает 2% веса тела и может достичь 5%. При подобном обезвоживании организма работоспособность человека понижается.

Непроизвольная дегидратация может быть сведена до минимума соблюдением нормального пищевого режима, наличием достаточного количества доброкачественной и приятной на вкус воды и свободного времени для утоления жажды за едой и между приемами пищи. Непроизвольная дегидратация усиливается при сильном потоотделении; поэтому необходимо по возможности избегать излишней активности.

Так как непроизвольная дегидратация наступает даже при самых благоприятных условиях, то необходимо убедить людей пить больше воды, чем им хочется, особенно в периоды продолжительной работы.

После дегидратации, возникшей в тепловой камере или в пустыне, люди пьют много только в первые 15—20 мин. В течение этого времени они возмещают всю потерю воды, если только эта потеря не превышает 2% исходного веса тела. После первых 15—20 мин. прием воды продолжается в гораздо более медленном темпе.

Чем больше дефицит воды в организме, тем больше времени требуется для его полной компенсации. Возможна адаптация к недостатку воды, вследствие которой непроизвольная дегидратация может увеличиться к концу дня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dill D. B., *Life, Heat, and Altitude*, Cambridge, Harvard, Univ. Press, p. 40, 1938.
2. Pitts G. C., Johnson R. E., Consolazio F. C., *Am. J. Physiol.*, 142, 253 (1944).
3. Adolph E. F., *Federation Proc.*, 1, 1 (1942).
4. Robinson E. A., Adolph E. F., *Am. J. Physiol.*, 139, 39 (1943).
5. Adolph E. F., *Physiological Regulations*, Lancaster, Pa., Cattell, p. 124, 181, 1943.

Глава XVII

ВОЗМОЖНАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ В ПУСТЫНЕ БЕЗ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

В главе IX описывалось состояние человека при недостатке питьевой воды. Обсуждалось, способен ли он добраться пешком до источников воды и сколько времени сможет идти в пустыне без воды. Здесь мы попытаемся выйти за пределы экспериментальных данных и предсказать, сколько времени может выжить человек, оказавшийся один в пустыне без питьевой воды. Наши сведения о состоянии дегидратации дают нам возможность сделать приблизительные количественные заключения. Методами, применявшимися нами для определения скорости достижения предела выносливости во время ходьбы, мы можем определить и максимальную продолжительность жизни человека без воды в условиях пустыни. В первом случае наши прогнозы проверялись разнообразными экспериментальными исследованиями; вопрос о продолжительности жизни, естественно, не может быть проверен экспериментальным путем.

Для определения продолжительности выживания мы сначала вычислили, какой дефицит воды в организме человека является в данных условиях предельным. Затем мы установили, сколько дней потребуется для достижения этой предельной дегидратации при разных условиях. Несомненно, что степень выносливости сильно колеблется у разных индивидуумов. Однако вряд ли можно предположить, что предельный водный дефицит у разных людей может разниться вдвое. Возможно, что выносливость человека зависит от таких факторов, как степень акклиматизации и состояние питания. Во всяком случае, наши определения выносливости могут считаться лишь приблизительными. Поэтому, предсказывая продолжительность жизни человека в данных условиях, мы с самого начала вносим элемент неопределенности; речь может идти только о средних величинах. Как и при всех средних данных, возможные отклонения от них не умаляют их значения для оценки критических положений.

Устанавливая средний предел выносливости для данного человека, находящегося в состоянии дегидратации, мы руководствуемся симптомами и признаками, которые мы имели возможность наблюдать. Мы знаем, что водный дефицит в 3—4% веса тела сопровождается умеренным нарушением активности. При дефиците в 5—8% у «среднего» человека появляется чувство утомления,

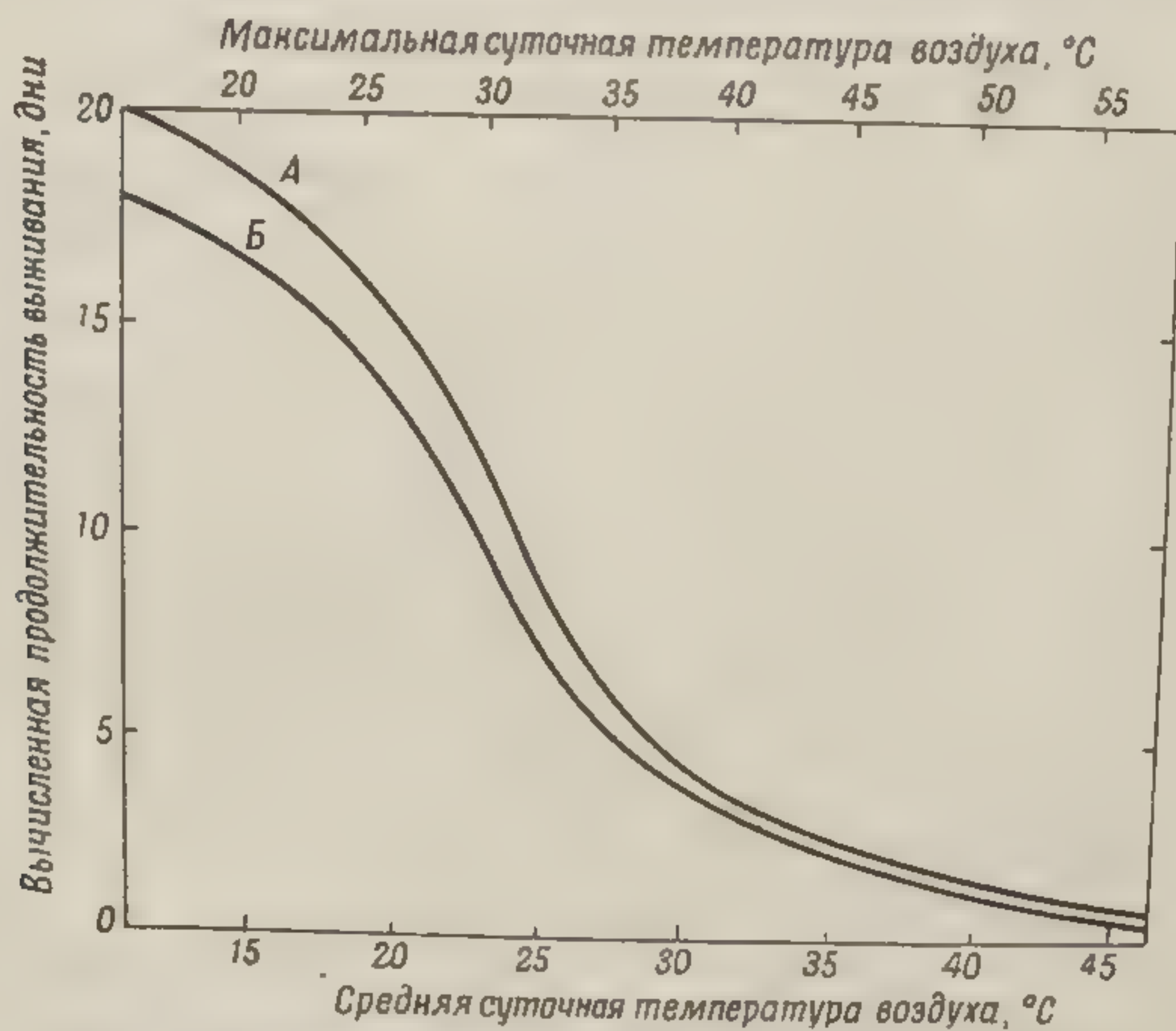
упадок духа, он жалуется на свое состояние и предрасположен к коллапсу. Люди с водным дефицитом, превышающим 10% веса тела, не способны к согласованным действиям. Даже после того как работоспособность человека совершенно нарушена вследствие обезвоживания организма, он может вынести еще некоторую потерю воды и восстановление водного баланса еще возможно. Наши экспериментальные данные относятся к людям с водным дефицитом, не превышающим потерю веса тела в 11%. Разные виды млекопитающих при обычной температуре выносят постепенную потерю веса примерно до 30%; однако нельзя точно сказать, какая часть этой потери происходит за счет потери воды, так как при обычных температурах животные выживали в течение многих дней без всякой пищи. Мы считаем, что пределом потери веса тела для человека при быстрой дегидратации является 20%.

Если человек имеет в своем распоряжении ограниченные запасы воды, то совершенно очевидно, что очень важно знать точное количество этой воды. Здесь следует подчеркнуть, что существенное значение имеет именно количество, а не способ употребления воды. До тех пор пока человек выпивает немного больше, чем нужно для утоления жажды, вся выпитая им вода используется организмом. Выпивает ли он это количество воды быстро или подвергает себя значительной дегидратации с целью растянуть запас, результат будет почти один и тот же: водный дефицит не уменьшится. Поэтому на основании суточных потерь воды можно определить не только суточную потребность в ней, но и предсказать увеличение дегидратации в случае отсутствия воды (подробности см. на стр. 131—137).

Мы сопоставили степень дегидратации с температурой воздуха, так как температура является наиболее важной переменной в большинстве критических обстоятельств и ее влияние, в общем, легче предугадать, чем действие индивидуальной активности или времени пребывания при высокой температуре. Однако кроме температуры воздуха, важную роль играют также и эти два фактора. Выясняя продолжительность выживания людей в пустыне, мы исходили из условий, что: 1) люди снабжены необходимым количеством воды с момента своей изоляции в пустыне; 2) когда солнце стоит высоко над горизонтом, люди остаются в тени в полной одежде (можно воспользоваться тенью, отбрасываемой местной растительностью); 3) переходы совершаются в ночное время, причем поход начинают около 10 час. вечера и за 8 час. проходят (каждую ночь) 28,8 км; 4) люди способны к ходьбе до тех пор, пока водный дефицит не достигает 10% веса тела (дегидратация создается большей частью в результате незаметного пототделения); 5) люди выживают, если им будет оказана помощь до того, как потеря веса тела превысит 20%; 6) люди ничего не едят, кроме небольшого количества сладостей; 7) средняя суточная тем-

пература воздуха в тени постоянна и обычно на 8° ниже максимальной дневной температуры в тени (фиг. 127).

Вероятно, размеры тела также являются фактором, влияющим на продолжительность существования, хотя по этому вопросу мы не имеем никаких фактических данных. Если считать, что потеря воды организмом пропорциональна поверхности тела, то при отсутствии воды человек высокого роста имел бы преимущество перед другими так как для потери определенной части веса его тела потребовалось



Фиг. 127. Вычисленная продолжительность выживания человека, находящегося в состоянии дегидратации в пустыне при отсутствии питьевой воды. А — все время состояние покоя; Б — ходьба до истощения, затем отдых.

бы больше времени. Такое соотношение было бы правильным, если потеря в весе тела (в процентах), вызывающая смерть, не была бы одинаковой для людей разного роста. С другой стороны, человек невысокого роста имеет то преимущество, что небольшого количества воды ему может хватить на более длительный срок.

Зная, что выпитая вода идет на возмещение жидкости, израсходованной в результате потоотделения, мы можем определить продолжительность существования в зависимости от наличия различных количеств воды. При разной температуре воздуха эффект данного количества воды будет различным (табл. 53), но пропорциональным времени выживания без воды; так, около 4 л воды увеличивают на 40—50% число дней, в течение которых достигается потеря веса тела 10%, а 7,5 л воды могут почти удвоить время, в течение которого человек способен к активному передвижению.

Таблица 53

ВЫЧИСЛЕННАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЛЮДЕЙ
В ПУСТЫНЕ, ДНИ

Условия опыта	Максимальная суточная температура в те- ни, °С	Запас воды для 1 человека, л					
		0	1	2	4	10	20
Без ходьбы	49	2	2	2	2,5	3	4,5
	43	3	3	3,5	4	5	7
	38	5	5,5	6	7	9,5	13,5
	32	7	8	9	10,5	15	23
	27	9	10	11	13	19	29
	21	10	11	12	14	20,5	32
	16	10	11	12	14	21	32
	10	10	11	12	14,5	21	32
Ходьба ночью до истощения, затем отдых	49	1	2	2	2,5	3	
	43	2	2	2,5	3	3,5	
	38	3	3,5	3,5	4,5	5,5	
	32	5	5,5	5,5	6,5	8	
	27	7	7,5	8	9,5	11,5	
	21	7,5	8	9	10,5	13,5	
	16	8	8,5	9	11	14	
	10	8	8,5	9	11	14	

Следовательно, продолжительность выживания можно предска-
зать достаточно просто. Для этого необходимо только знать темпе-
ратуру воздуха, физическую активность человека и время его пре-
бывания на солнце. Достоверность наших данных невозможно было
проверить, так как мы не располагаем соответствующими данными
о продолжительности существования людей, находившихся без
воды в пустыне. Мы располагаем данными об отдельных лицах,
сообщивших о своем собственном опыте в этом отношении, но все
они носят субъективный характер и не дают точного представления
об атмосферных условиях или пройденных расстояниях. Только
соответственно структурированный научный работник мог бы
представить отчет, удовлетворяющий современным требованиям.

Глава XVIII

ПОТЕРЯ ВОДЫ У ЛЮДЕЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В СПАСАТЕЛЬНЫХ РЕЗИНОВЫХ ЛОДКАХ

Люди, находящиеся в открытом море, окружены водой, но она не пригодна для питья. Поэтому с точки зрения снабжения питьевой водой океан также представляет собой пустыню. Так как проблема дегидратации одинакова во всех пустынях, «морских» или сухопутных, мы попытались выяснить, каким образом потерпевшие аварию на море могут лучше всего избежать дегидратации и тем самым продлить свою жизнь.

Пресная вода, вне всякого сомнения, является наиболее ценным из всех напитков. Морская вода не пригодна для питья, так как она содержит 3—3,5% солей, которые абсорбируются из пищеварительного тракта вместе с водой, но не накапливаются в тканях тела, а выделяются из организма и, следовательно, вызывают дополнительную трату тканевой жидкости (в моче соль содержится в количестве 2—3%).

Мы специально выясняли степень потери воды у людей, находившихся в надувных резиновых лодках и значение тени и влажности одежды для уменьшения этой потери. Полученные данные мы использовали для определения потребности человека в воде в разных температурных зонах в зависимости от наличия запасов воды или от сбора дождевой воды. Мы вычислили также продолжительность существования без воды.

Так как истощение запасов воды в организме может создать угрозу для жизни человека только в наиболее жарких зонах океана, мы перенесли наши исследования в южные воды (в Эглин Филд, Флорида). Мы задались целью: 1) выяснить величину потоотделения у людей, находящихся в спасательных лодках, и связать эти данные с преобладающей температурой воздуха, скоростью ветра, влажностью, временем дня и облачностью; 2) определить степень уменьшения потоотделения в тени; 3) установить степень уменьшения потоотделения в результате смачивания одежды морской водой; 4) проследить изменения мочеотделения и удельного веса мочи при начальных стадиях дегидратации на море; 5) сравнить эти данные с результатами лабораторных исследований и, таким образом, проверить практическую применимость последних.

Испытуемые считанных каждой и стояли в Чоктоуэти. То Мексиканского когда бриз дул море лишь тем, менее насыщен

Степень деления потерь расстояний 1,5 в моторной лодке их чувствитель производились веса составлял мы считаем, ко испытуемые вз

В течение к хим и влажные поверхности в Отмечалось та Наблюдения в между взвешив производили м и обратно от оставались в завтрак и уж поэтому их об потерпевших к тов только час том.

Возможные зической рабо пытуемые в те няли минимал Хотя практиче можно считать шался (по сра ствий как на служащего д которых лод Большинст гонали и пох дом опыте п 20 э. Адольф

Условия опыта

Испытуемые находились в 3 надувных резиновых лодках, рассчитанных каждая на 5 человек. Все лодки были связаны между собой и стояли на якоре примерно в 500 м от берега, в бухте залива Чоктоуэтчи. Только узкая полоска земли отделяла эту бухту от Мексиканского залива, и условия, за исключением тех случаев, когда бриз дул с континента, отличались от условий в открытом море лишь тем, что вода была несколько более спокойной, а воздух менее насыщен влагой.

Степень дегидратации испытуемых определялась путем определения потери веса. Весы были установлены на набережной, на расстоянии 1,5 км от лодок; люди перевозились на эту набережную в моторной лодке. Весы были защищены от ветра и в этих условиях их чувствительность практически равнялась ± 10 г. Взвешивания производились с промежутками 2—5 час. Так как общая потеря веса составляла обычно 250—500 г, то степень дегидратации, как мы считаем, колебалась в пределах 4—8%. Почти во всех случаях испытуемые взвешивались голыми.

В течение каждого эксперимента мы многократно измеряли сухим и влажным термометром температуру воздуха, температуру поверхности воды и определяли направление и скорость ветра. Отмечалось также время, когда солнце закрывалось облаками. Наблюдения велись днем и ночью. В экспериментальные периоды между взвешиваниями испытуемые не принимали пищи и питья и не производили мочеиспускания. Перемещение с лодок на набережную и обратно отнимало 8—12 мин., во время которых испытуемые оставались в полном бездействии. Они в обычное время съедали завтрак и ужин и в полдень получали легкий второй завтрак; поэтому их обмен был несколько выше, чем у голодающих людей, потерпевших крушение на море. Однако в большинстве наших опытов только часть образовавшегося в организме тепла терялась с потом.

Возможные расхождения, обусловленные предшествующей физической работой, сглаживались тем, что до начала опыта все испытуемые в течение 1 часа находились в состоянии покоя и сохраняли минимальную активность в промежутках между опытами. Хотя практически активность испытуемых во время наших опытов можно считать минимальной, тем не менее их обмен веществ повышался (по сравнению с основным) вследствие таких случайных действий как накачивание воздуха в лодку, прилаживание брезента, служащего для создания тени, изменение положения канатов, которыми лодки были связаны вместе, и выкачивание воды.

Большинство испытуемых носило костюмы из бумажной диагонали и походные головные уборы или тропические шлемы. В каждом опыте приблизительно четвертая часть всех испытуемых

носила брюки и рубашку из легкой ткани; потеря ими воды не отличалась заметно от потери воды у остальных испытуемых нашей группы. Все испытуемые были без ботинок.

Испытуемые сидели или полулежали на дне, на сиденьях или на борту лодки. В незатененных лодках не принималось никаких особых мер для уменьшения поверхности тела, освещаемой солнцем, но вместе с тем рукава рубашек не закатывались и все носили на голове шляпы или шлемы. Когда море было относительно спокойным, не составляло особого труда, если это требовалось, сохранять кожу (за исключением ног) и одежду сухими. Морская болезнь была отмечена только у одного человека. Для создания тени на одной лодке был прикреплен брезент таким образом, чтобы люди не прикасались к нему. Брезент несколько задерживал движение воздуха, но то же самое произошло бы и при любом другом способе затенения. Когда это требовалось по ходу опыта, испытуемые периодически смачивали свою одежду, нагибаясь через борт лодки, брызгая водой друг на друга или специально смачивая снятую одежду.

Для определения влияния тени и мокрой одежды на потерю воды был проведен ряд опытов, в которых испытуемые были разделены на 2 группы, подвергаемые разному режиму. Насколько было возможно, испытуемые в обеих группах подбирались в среднем одного веса, ибо вес тела является одним из факторов, обуславливающих величину потоотделения.

При одновременном определении степени дегидратации в обеих группах вскоре стало очевидно, что потоотделение очень мало изменяется в зависимости от других факторов, кроме тех, которые непосредственно подвергались учету (солнце, тень, мокрая или сухая одежда). Поэтому те опыты, в которых сравниваются 2 группы при одинаковом сроке экспозиции, дают результаты, лишь незначительно отличающиеся от данных, полученных путем выведения средних из всех проведенных опытов, независимо от того, когда они были сделаны. Для ясности мы приводим как те, так и другие данные.

Потоотделение

Основные полученные нами данные приведены в табл. 54. В течение 11 дней было проведено 159 опытов. В табл. 55 опыты, проводимые при одинаковых условиях, сгруппированы вместе; для каждой группы указываются средние результаты. Распределение величин потоотделения при различных условиях опыта дано на фиг. 128.

Влияние тени. У испытуемых, сидевших на солнцепеке в сухой одежде, средняя величина потоотделения составляла 247 г/час, т. е. была значительно выше, чем у испытуемых, сидевших в тени

ВЕЛИЧИНА ПОТОТДЕЛЕНИЯ У ЛЮДЕЙ, НАХОДИВШИХСЯ В СПАСАТЕЛЬНЫХ РЕЗИНОВЫХ ЛОДКАХ

Условия опыта	Дата	Число испытуемых	Вес тела, кг	Величина потоотделения, г/час	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость ветра, м/сек	Время, в течение которого солнце закрыто облаками
---------------	------	------------------	--------------	-------------------------------	-------------------------	----------------------------	-----------------------	---

Таблица 54

ВЕЛИЧИНА ПОТООТДЕЛЕНИЯ У ЛЮДЕЙ, НАХОДИВШИХСЯ В СПАСАТЕЛЬНЫХ
РЕЗИНОВЫХ ЛОДКАХ

20*

Условия опыта ¹⁾	Дата	Число испы- туемых	Вес тела, кг ²⁾	Величина потоотде- ления, г/час ²⁾	Темпера- тура воз- духа, °С ²⁾	Относи- тельная влажность, % ²⁾	Скорость ветра, м/сек ²⁾	Время, в течение ко- торого солнце за- крыто об- лаками, %	Продолжительность опыта
А	27.VIII 1944 г.	9	70,66	215	30,5	74	3,6	< 2	9 час. 55 мин. — 12 час. 43 мин.
А	27.VIII	8	67,66	212	26,7	74	5,4	< 2	13 » 34 » — 15 » 33 »
А	28.VIII	9	70,91	186	29,1	75	2,6	< 2	8 » 04 » — 22 » 10 »
А	28.VIII	8	71,76	254	29,6	73	2,7	< 2	10 » 33 » — 12 » 05 »
А	28.VIII	7	71,88	290	40,2	72	4,0	< 2	13 » 29 » — 15 » 08 »
А	30.VIII	4	70,98	289	29,4	78	1,7	< 2	8 » 14 » — 10 » 45 »
А	30.VIII	4	73,55	283	26,7	74	5,4	< 2	13 » 06 » — 15 » 30 »
А	1.IX	4	71,20	301	29,6	76	Незначи- тельная	< 2	10 » 00 » — 12 » 12 »
А	2.IX	8	68,41	64	27,7	87	1,6	< 2	9 » 50 » — 11 » 38 »
А	3.IX	3	75,59	269	28,5	81	3,2	< 2	9 » 40 » — 12 » 00 »
А	3.IX	5	68,90	327	29,0	76	2,6	< 2	12 » 41 » — 15 » 12 »
А	4.IX	5	71,45	243	29,5	75	—	< 2	11 » 40 » — 15 » 15 »
А	8.IX	5	68,65	321	30,0	64	3,9	9	10 » 32 » — 13 » 05 »
А	8.IX	5	67,47	216	30,9	51	4,2	35	13 » 54 » — 16 » 36 »
Б	2.IX	4	72,89	125	29,4	84	3,6	< 2	9 » 50 » — 11 » 38 »
Б	3.IX	4	70,47	162	29,0	76	2,6	< 2	12 » 41 » — 15 » 12 »
	3.IX	4	74,75	161	28,5	81	3,2	< 2	9 » 40 » — 12 » 00 »

Условия опыта ¹⁾	Дата	Число испы- туемых	Вес тела, кг ²⁾	Величина потоотде- ления, г/час ²⁾	Темпера- тура воз- духа, °С ²⁾	Относи- тельная влажность, % ²⁾	Скорость ветра, м/сек ²⁾	Время, в течение ко- торого солнце за- крыто об- лаками, %	Продолжительность опыта
Б	8.IX	4	72,42	168	30,0	64	3,9	9	10 час. 32 мин. — 13 час. 05 мин.
В	8.IX	4	73,66	63	30,9	51	4,2	35	13 » 54 » — 16 » 36 »
В	9.IX	4	66,28	38	29,9	69	3,4	<2	11 » 09 » — 13 » 49 »
В	30.VIII	4	71,01	91	26,7	74	5,4	<2	13 » 06 » — 15 » 30 »
Г	4.IX	4	71,65	62	29,5	75	—	<2	11 » 40 » — 15 » 15 »
Г	4.IX	4	71,18	36	30,3	76	—	<2	15 » 15 » — 18 » 12 »
Г	5.IX	4	70,38	35	29,8	74	—	<2	11 » 40 » — 15 » 10 »
Г	9.IX	4	66,73	38	29,9	69	3,4	<2	11 » 09 » — 13 » 49 »
Г—Д	4.IX	4	71,02	24	27,7	87	—	—	18 » 12 » — 22 » 01 »
Д	4—5.IX	4	70,76	18	26,6	89	—	—	22 » 01 » — 3 » 51 »
Д	5.IX	4	70,60	18	26,7	93	—	—	3 » 51 » — 7 » 51 »
Д	9—10.IX	7	73,80	43	26,7	60	6,9	—	19 » 46 » — 0 » 20 »
Д	10.IX	8	69,97	38	24,9	62	8,4	—	0 » 20 » — 3 » 44 »
Е	30.VIII	4	73,00	71	30,0	78	1,7	<2	8 » 14 » — 10 » 45 »

¹⁾ А — без тени, сухая одежда, ясный день.

Б — тень, сухая одежда, ясный день.

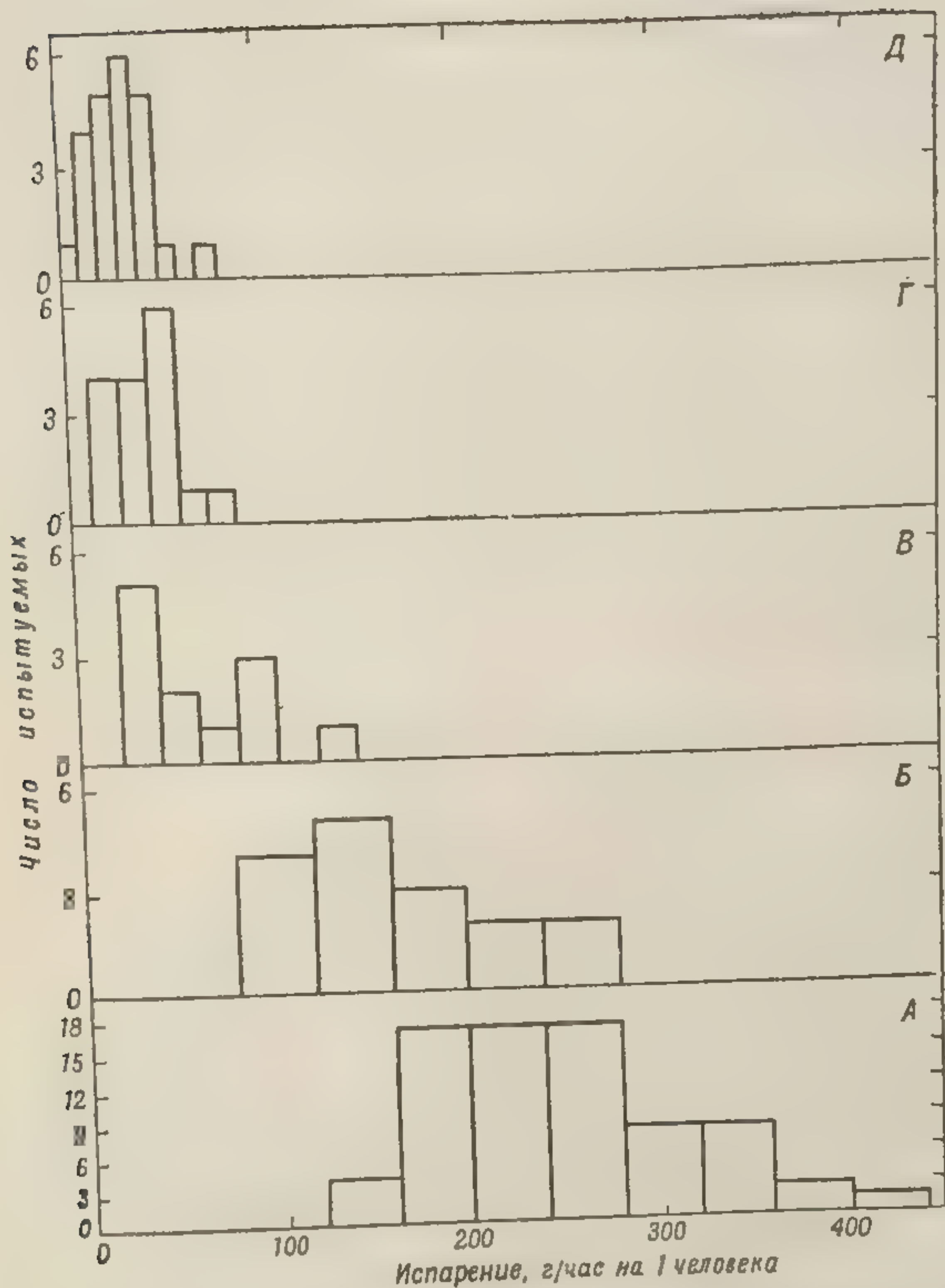
В — без тени, влажная одежда, ясный день.

Г — тень, влажная одежда, ясный день.

Д — ночь.

Е — люди погружаются в воду, держась за лодку, ясный день, температура воды 29,3°.

²⁾ Все цифры средние.



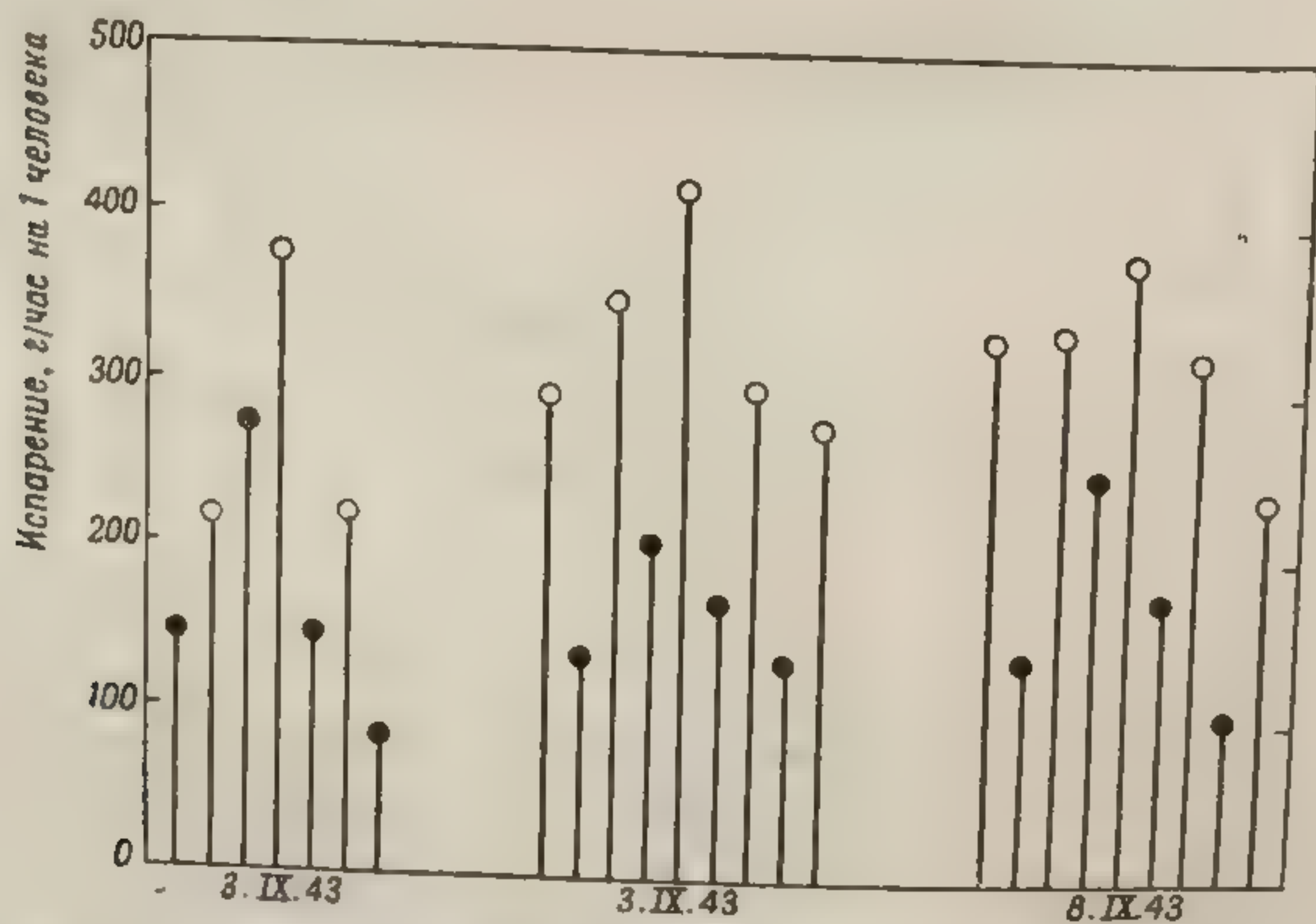
Фиг. 128. Испарение пота у испытуемых, находящихся в спасательных резиновых лодках в разных условиях (на основании данных табл. 54 и 55). А — на солнцепеке в сухой одежде; В — в тени в сухой одежде; В — на солнцепеке во влажной одежде; Г — в тени во влажной одежде; Д — ночью в сухой одежде.

Таблица 55

ВЕЛИЧИНА ПОТООТДЕЛЕНИЯ У ЛЮДЕЙ, НАХОДИВШИХСЯ В СПАСАТЕЛЬНЫХ РЕЗИНОВЫХ ЛОДКАХ (сводные данные табл. 55)

Условия опыта			Число испытуемых	Вес тела, кг ¹⁾	Потоотделение		Температура воздуха, °C ¹⁾	Относительная влажность, % ¹⁾	Скорость ветра, м/сек ¹⁾
тень	одежда	время суток и погода			г/час ¹⁾	стандартное отклонение			
Нет	Сухая	Ясный день	76	70,71	247	± 7	29,3	72	3,3
Есть	»	»	16	72,63	158	± 12	29,2	76	3,4
Нет	Влажная	»	12	70,32	65	± 10	29,1	65	4,3
Есть	»	»	16	69,99	41	± 5	29,7	74	—
	Большей частью сухая	Ночь	23	71,38	32	± 3	26,1	71	—

¹⁾ Все величины средние.



Фиг. 129. Потоотделение у испытуемых, находящихся в спасательных резиновых лодках в тени и на солнце в сухой одежде (на основании данных табл. 54). ○ — на солнце; ● — в тени.

(158 г/час). Уменьшение на 36% величины потоотделения благодаря наличию тени (в данном случае навес из брезента) имеет большое значение. Несомненно, что любой способ затенения будет оказывать одинаковое действие. На фиг. 129 приведены результаты 25 опытов, в которых сопоставляются оба режима: без тени и с тенью. Эти дан-

ные показы
черкуют
кую погоду

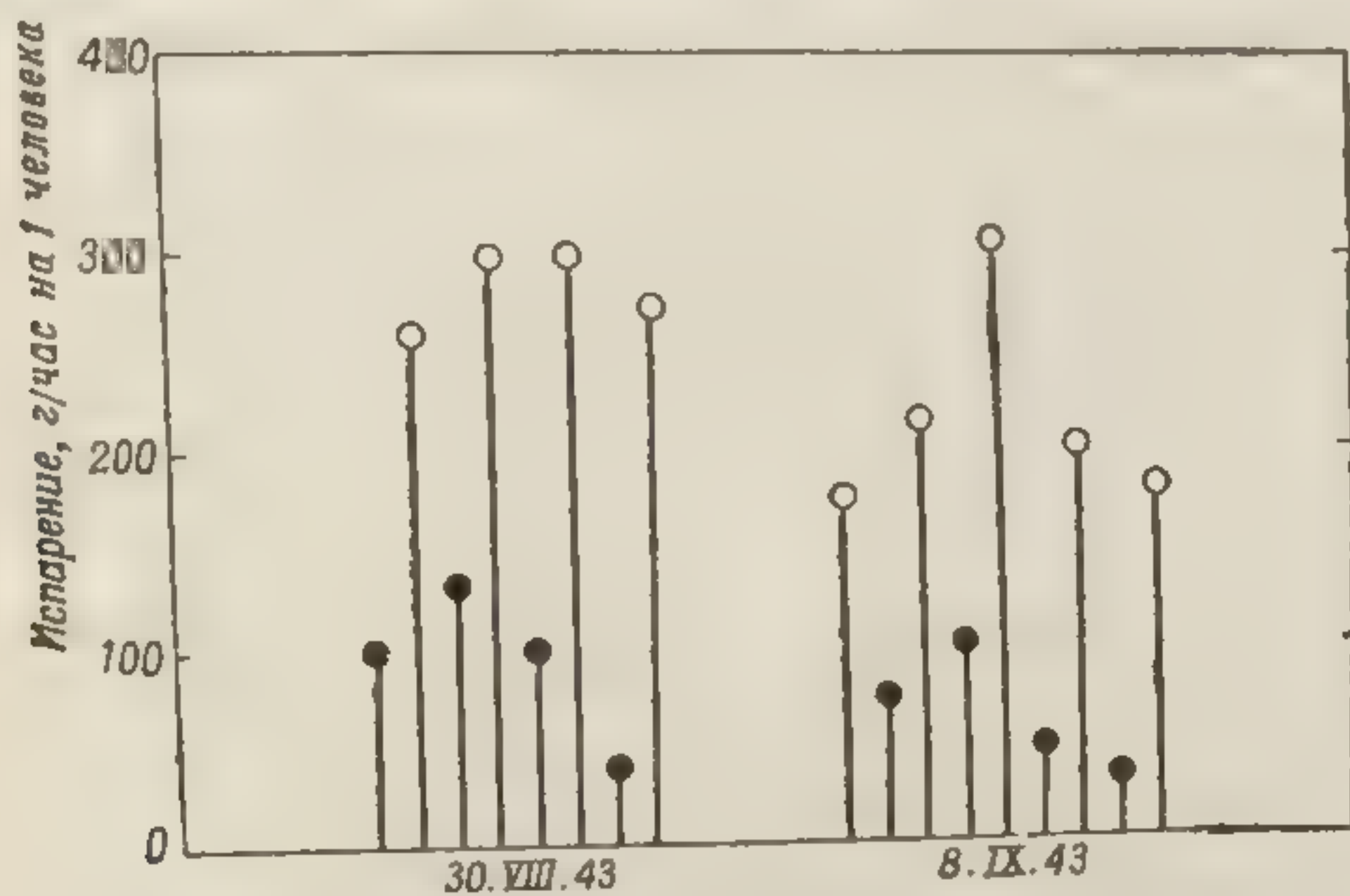
Влияни
одежды ил
Результат
одежды уме
что дает эк
насколько

Во всяком
применять
в тени, мо
ления, так
158 г/час,

В 76 оп
де, между
13 отдельн
отделения
сухого и
рости ветр
ной. Мы
выражающ
духа, а та

ные показывают степень экономии воды при наличии тени и подчеркивают важность обеспечения тенью людей, находящихся в жаркую погоду на лодках.

Влияние влажной одежды. Заметный эффект от смачивания одежды иллюстрируется 17 опытами, приведенными на фиг. 130. Результаты всех опытов этого типа показывают, что смачивание одежды уменьшает среднюю величину потоотделения с 247 до 65 г/час, что дает экономию воды в 74%. Размеры экономии зависят от того, насколько тщательно люди поддерживают влажность своей одежды.



Фиг. 130. Потоотделение у испытуемых, находящихся в спасательных резиновых лодках на солнце (на основании данных табл. 54). ○ — в сухой одежде; ● — во влажной одежде.

Во всяком случае, этот способ экономии потоотделения необходимо применять при первой же возможности. Даже люди, находящиеся в тени, могут с пользой применять этот способ экономии потоотделения, так как в тени человек в сухой одежде теряет в среднем 158 г/час, а во влажной — всего 41 г/час.

Влияние метеорологических условий

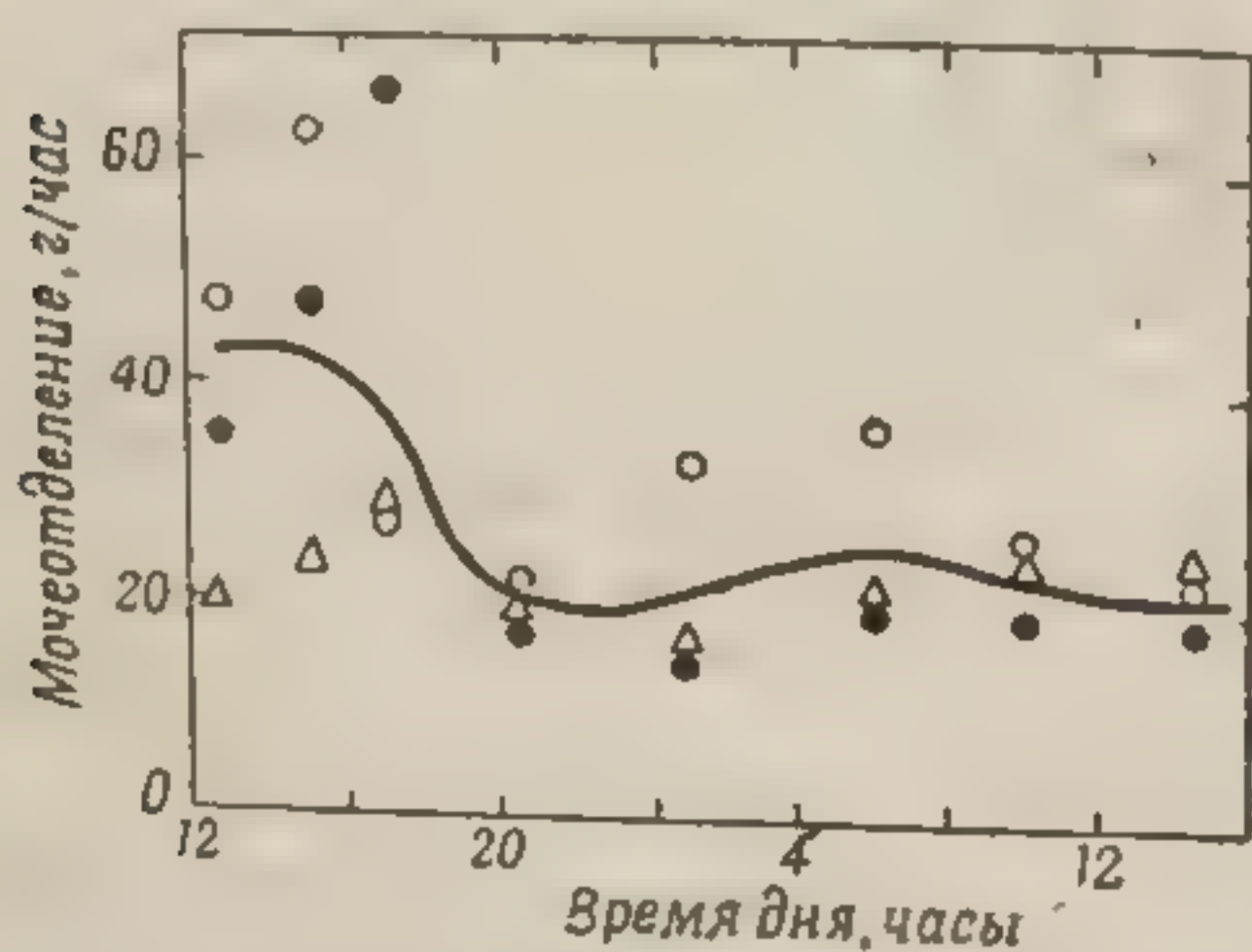
В 76 опытах с людьми, находившимися на солнце в сухой одежде, между 8 час. утра и 5 час. пополудни было зафиксировано 13 отдельных периодов. Корреляция между средней величиной потоотделения и средними величинами температуры (по показаниям сухого и влажного термометра), относительной влажности, скорости ветра и времени дня оказалась во всех случаях незначительной. Мы вычислили также коэффициенты частичной корреляции, выражающие связь величины потоотделения с температурой воздуха, а также со скоростью ветра (вероятно, это два наиболее важ-

ных метеорологических фактора, влияющих на величину потоотделения), однако и в этих случаях корреляция была незначительной.

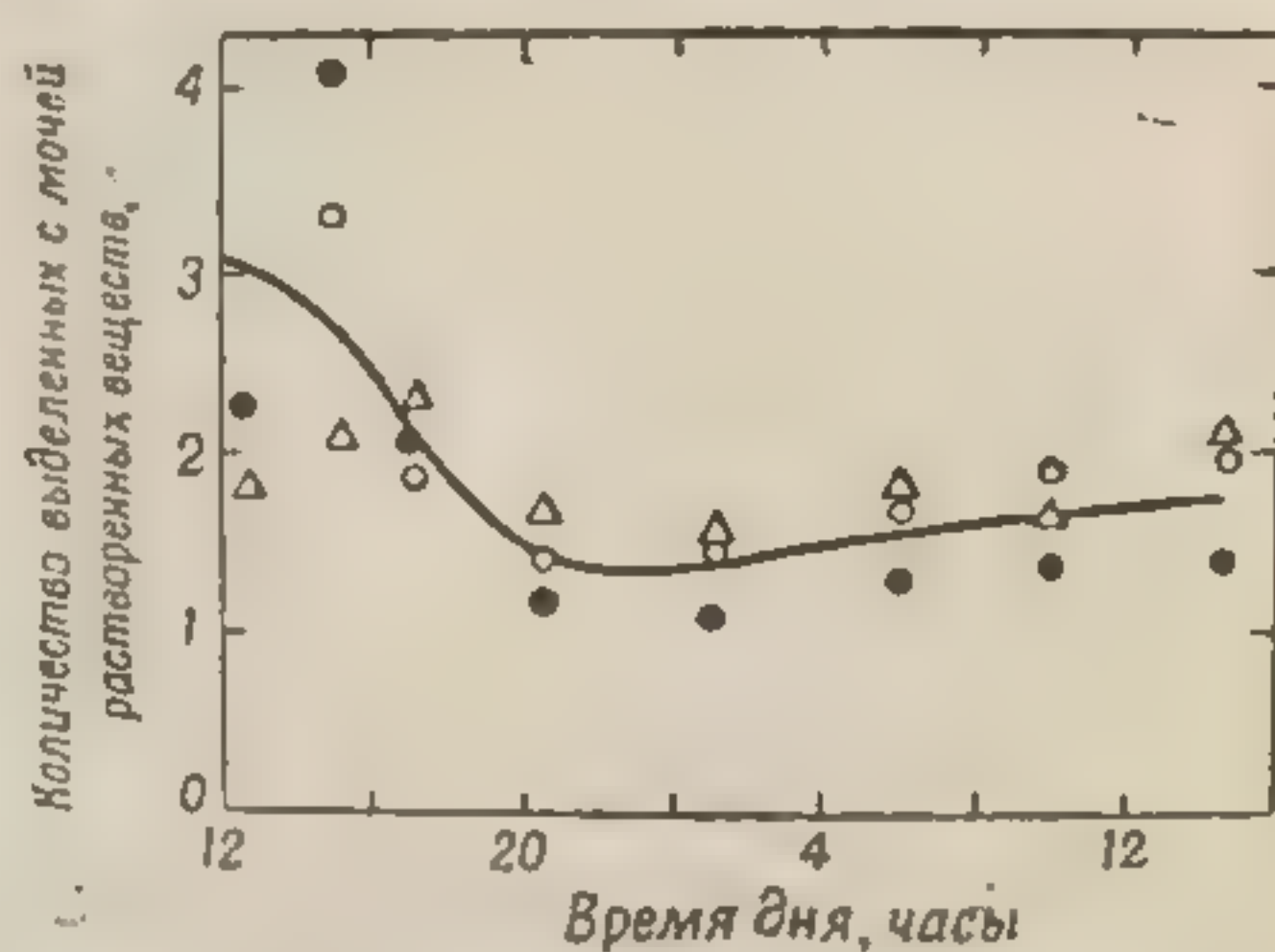
Нет ничего удивительного в том, что нам не удалось обнаружить достаточной корреляции, ибо во время наших опытов скорость ветра и температура колебались лишь в узких пределах. Во всех опытах, кроме 4, преобладающая температура воздуха колебалась между 29 и 31° и только в 3 опытах средняя скорость ветра была меньше 3 м/сек. Колебания температуры при больших скоростях ветра оказали бы, вероятно, меньшее действие на регуляцию температуры тела, чем такие же колебания при незначительных скоростях ветра.

Изменение мочеотделения на начальных стадиях обезвоживания организма

В одной серии наших опытов, длившейся 30 час., 4 испытуемых были оставлены в лодке без еды и питья; 8 раз их привозили на землю для взвешивания. Как и в других опытах, эти испытуемые оставались в течение всего опыта в состоянии бездействия. Потеря воды



Фиг. 131. Мочеотделение у испытуемых, находящихся в резиновых спасательных лодках (начальные стадии обезвоживания организма). Одинаковые значки обозначают одного испытуемого.



Фиг. 132. Выделение с мочой растворенных веществ (г/час) у испытуемых, находящихся в резиновых спасательных лодках (начальные стадии обезвоживания организма). Одинаковые значки обозначают одного испытуемого.

была доведена до минимума тем, что они днем находились в тени и в мокрой одежде. Моча собиралась периодически; для каждой порции определялись объем и удельный вес; таким образом мы могли установить скорость выделения воды и растворенных веществ. Только один человек не смог собрать мочу в установленные сроки. Оказалось, что с течением времени количество выделяемой мочи несколько уменьшалось (фиг. 131) и к концу первого дня потеря воды этим путем составляла только около 500 г. Это вполне подтвердило наши ожидания. Как видно из фиг. 132, выделение растворен-

ных в моче веществ было больше днем, чем ночью, и уменьшалось к концу опыта; это также соответствовало нашим ожиданиям. Содержание растворенных в моче веществ вычислялось по количеству и удельному весу мочи, согласно уравнению Лонга:

$$(\text{уд. вес} - 1) \times 266 \times \text{количество мочи} = \text{количество растворенных веществ},$$

где количества мочи и растворенных веществ выражены в граммах за 1 час.

Суточная потеря веса тела

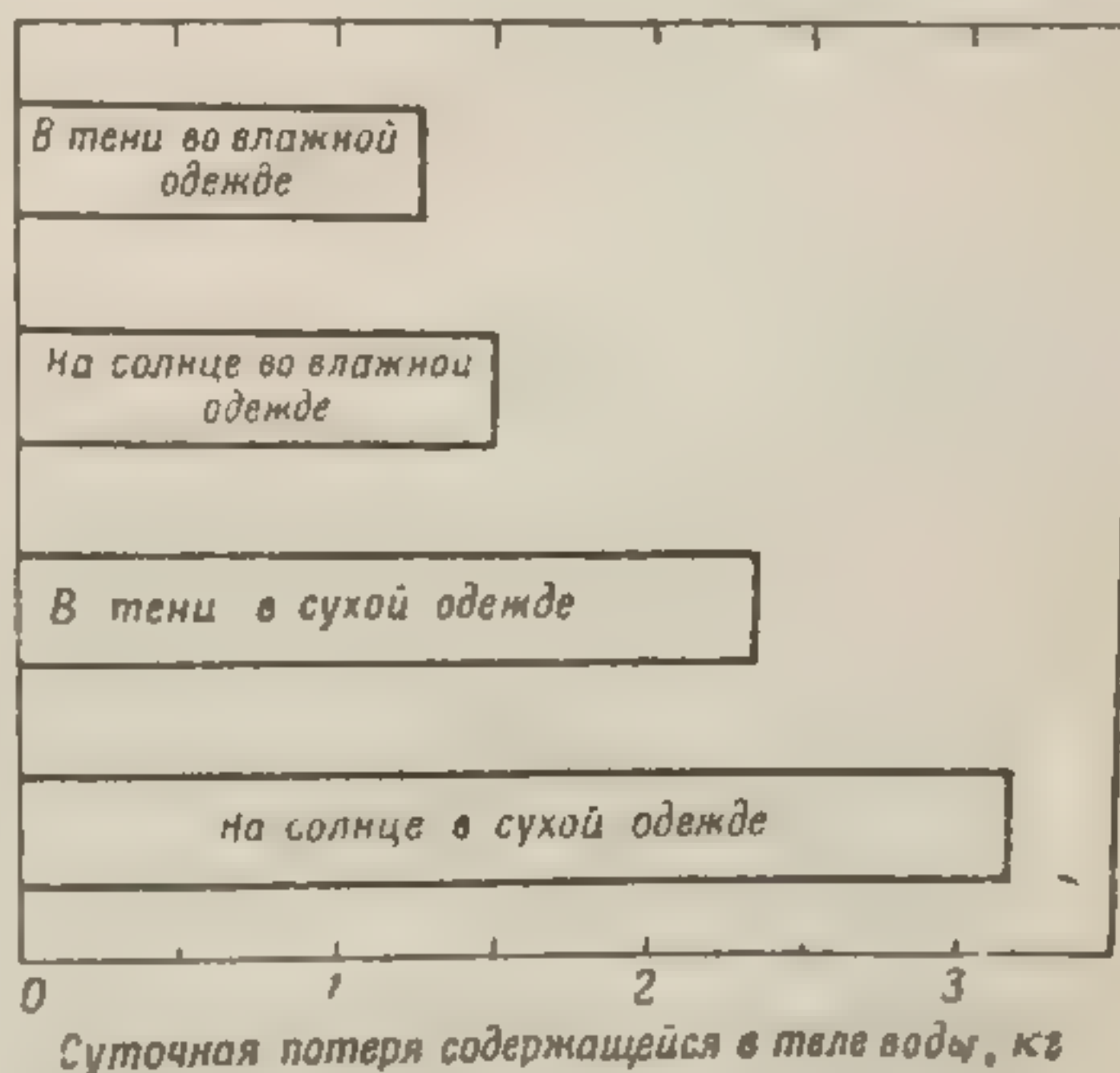
На основании средних данных о величине потоотделения (см. табл. 55) и мочеотделения мы вычислили суточную потерю веса у испытуемых, находящихся в лодках при ясной погоде и температуре воздуха около $29,5^\circ$. Наши данные показывают, что можно вычислить довольно точно общую суточную потерю веса тела, если считать, что дневная величина потоотделения наблюдается на протяжении 10 час., а ночная — в течение остальных 14 час.

Вычисленная таким образом общая потеря веса, происшедшая вследствие потоотделения, должна быть уменьшена на 10% — поправка на разницу в теплопродукции у истощенных от голода людей и хорошо питающихся испытуемых в наших опытах. Указанная величина (10%) представляет собой цифровое выражение той роли, которую играет специфически-динамическое действие пищи в потере веса тела; она колеблется в разных случаях в пределах 5—15%. В наших вычислениях мы учитывали также 500 г воды, выведенной с мочой. Таким образом, суточная потеря веса тела для среднего человека, находящегося в лодке при температуре воздуха $29,5^\circ$, вычислялась по следующей формуле:

$$\text{Потеря} = 0,9 (10 M + 14 N) - P,$$

где M и N — дневная и ночная потеря веса тела за счет потоотделения в кг/час; P — суточное выделение мочи, составляющее около 0,5 кг.

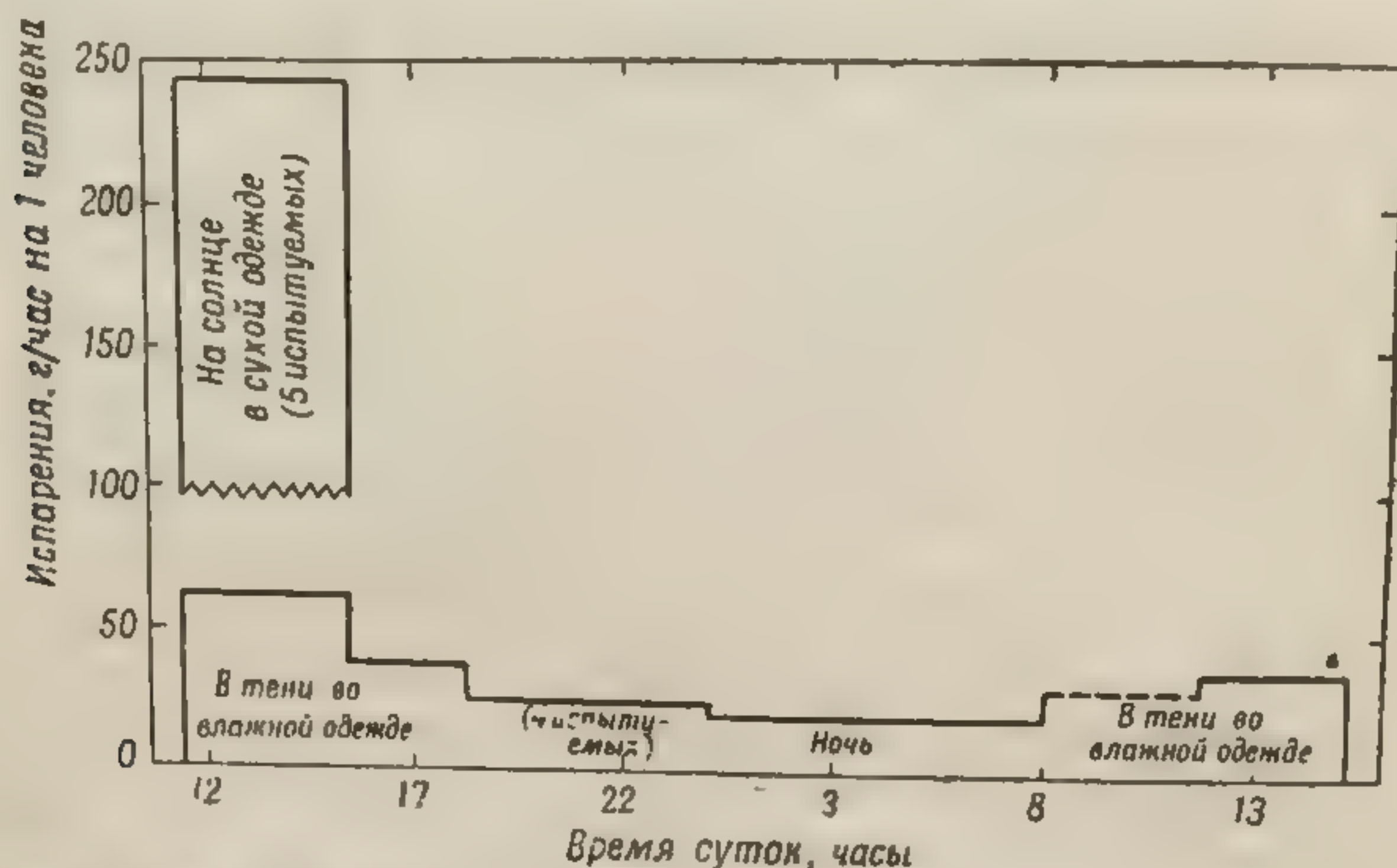
Результаты этих вычислений приведены на фиг. 133, на которой показана также относительная экономия, достигнутая за 24 часа при помощи различных предохранительных мероприятий.



Фиг. 133. Вычисленная средняя суточная потеря воды испытуемым, находящимся в спасательной резиновой лодке при температуре воздуха $29,5^\circ$.

Вышеописанная 30-часовая экспозиция была единственным случаем, когда испытуемые сохранили почти нормальный основной обмен на протяжении всего опыта.

Средняя суточная потеря веса для 4 испытуемых, находившихся в тени во влажной одежде, составляла 1,16 кг (фиг. 134); эти данные почти совпадают с теоретически вычисленной суточной потерей веса (1,27 кг), указанной на фиг. 133. Мы считаем, что в условиях наших опытов такая потеря веса является минимальной (см. табл. 54, метеорологические наблюдения опытов 4 и 5 сентября).



Фиг. 134. Потоотделение при продолжительном пребывании в спасательной резиновой лодке. Данные взяты из табл. 54 (4.IX и 5.IX 1943 г.).

В условиях реальной катастрофы на море обезвоживание организма часто наступает значительно быстрее, чем в наших опытах, причем морская болезнь является важным фактором, способствующим дегидратации. С другой стороны, такая значительная суточная потеря воды, которую мы изобразили на фиг. 133, обычно не имеет места в действительности, так как невероятно, чтобы в тропических морях безоблачные, солнечные дни не сменялись облачными и за все время пребывания людей в лодках одежда оставалась совершенно сухой.

Вычисление величины потери воды

Мы считаем возможным предсказать скорость обезвоживания организма у людей, потерпевших кораблекрушение при различных температурах воздуха. Производя расчеты, мы исходили из следующих условий: 1) дегидратация через рвоту — явление необычное; 2) в тропических водах дефицит воды в организме ограничивает

выживаемость; 3) адекватная защита от теплового излучения всегда может быть обеспечена; 4) при определении средней суточной потери веса не учитываются суточные колебания в скорости потери веса; 5) степень потери воды на море, так же как в тепловой камере и в пустыне, в первую очередь обуславливается температурой воздуха.

Мы сознаем, что эти предпосылки упрощают нашу задачу. Сообщения людей, переживших катастрофу на море, говорят о том, что морская болезнь — не только обычное явление, но что она иногда вызывает быструю и очень сильную дегидратацию. Мы наблюдали это в отдельных случаях и у испытуемых, остававшихся в лодках для экспериментальных целей. Далее, наш собственный опыт и сообщения лиц, испытавших условия пребывания в надувных резиновых лодках, показывают, что в подобных условиях люди зябнут при более высокой температуре воздуха, чем можно было бы предполагать, так что этот фактор может часто сократить жизнь даже в тропических водах.

Настоящее исследование показывает, что суточная амплитуда скоростей дегидратации оказалась неожиданно весьма большой. Это обусловлено прежде всего получением тепла за счет излучения в течение дня и отдачей тепла путем излучения в течение ночи. В ясные дни наличие тени и степень влажности одежды играли важную роль в потере воды организмом, между тем как ночью имело место лишь неощутимое потоотделение в размерах 32 г/час на 1 человека. Хотя дегидратация зависит главным образом от температуры воздуха, колебания ее при каждой данной температуре достаточно велики. На фиг. 128 показано распределение величин потоотделения во всех созданных нами экспериментальных условиях. Колебания отчасти объясняются различием исходного веса тела наших испытуемых, так как крупные люди теряют воду скорее. Тем не менее имеют значение также и другие факторы. Для иллюстрации мы укажем, что индивидуальные величины потери веса в 76 опытах над испытуемыми, находившимися на солнцепеке в сухой одежде, имели стандартные отклонения в ± 65 г/час, причем только 40% этих отклонений были обусловлены разницей в весе тела. Остальную часть следует приписать разнообразным факторам, не учтенным в наших опытах и также изменяющимся в критических ситуациях. Ввиду всех этих соображений следует считать, что человек, оказавшийся в лодке вследствие катастрофы, только случайно может потерять вычисленное нами количество воды. По нашим вычислениям, при температуре воздуха $29,5^\circ$ (преобладающая температура в наших опытах) потеря веса тела составляет 2,29 кг/сутки. При другой температуре воздуха водный дефицит был бы другим. Для настоящей цели мы пользуемся данными, полученными преимущественно во влажном воздухе внутри помещения (табл. 56).

Таблица 56

ЗАВИСИМОСТЬ СРЕДНЕЙ ВЕЛИЧИНЫ
ДЕГИДРАТАЦИИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА [2, 3]

Температура воздуха, °С	Потеря воды за счет пото- отделения, кг/сутки	Потеря воды с мочой, кг/сутки	Общая потеря воды, кг/сутки
32,2	2,44	0,50	2,94
29,5	1,79	0,50	2,29
26,6	1,39	0,50	1,89
24	1,18	0,50	1,68
21,1	1,04	0,50	1,54
15,5	0,90	0,50	1,40
10	0,83	0,50	1,33
4,4	0,76	0,50	1,26

На открытом воздухе потоотделение измерялось при другой температуре (26°); причем полученные величины подтверждают приводимые здесь данные [1]. Очевидно, люди в сухой одежде и в тени теряют воду быстро, если только температура воздуха поднимается выше 16°. Потери при таких температурах могут быть значительно уменьшены смачиванием одежды в течение дня; такое смачивание является вполне доступным средством, способствующим сохранению воды в организме.

Предельная температура, действие которой надлежит учитывать, не превышает 32°. Более высокой температуры на океане в тени не наблюдается, так как температура воздуха редко превышает температуру поверхности воды более чем на 1,1°.

Дождь как источник питьевой воды

Установив среднюю потерю воды для человека, находящегося в покое, при разных температурах воздуха, мы тем самым определили количество воды, необходимое для компенсации этой потери. Спасательная резиновая лодка снабжена некоторым запасом воды и оборудованием для обессоливания дополнительного количества воды, которое можно использовать в подходящих условиях. Все эти приспособления служат для снабжения людей водой в количестве, достаточном для компенсации потери воды в организме в течение неопределенного времени. Кроме того, над большинством океанов выпадают дожди, которыми также можно воспользоваться. При снаряжении спасательной лодки часто предусматриваются приспособления для собирания дождевой воды, причем особенности соответствующего оборудования должны определяться величиной

ВОЗМОЖНЫХ
ЛОВ. В жар
может огр
океанов до
ного обеспе
следует ис
кое количе
пературах
потери веса
ределения т
ние резино
Если извест
поверхности
года, то дан
сантиметров
в количестве

ПОВЕРХНОСТИ
НЕОБХ

Средняя тем-
пература воз-
духа, °С

32
27
21
16
10
4,4

Данные т
девой воды
ной качки.
хорошем ос
девой воды.
вую воду по

Ст
Вышепри
на море отно
ся в резино
сов. Что же

возможных потерь воды организмом и частотой и количеством осадков. В жаркие сезоны года, когда недостаточное снабжение водой может ограничить жизнеспособность людей, над большинством океанов дожди все же выпадают в количестве, достаточном для полного обеспечения людей питьевой водой. Во всяком случае всегда следует использовать дождевую воду. В табл. 57 показано, какое количество дождевой воды необходимо при различных температурах поверхности океана для компенсации средней суточной потери веса тела. Эта таблица может быть весьма полезна для определения того, какой инвентарь должен быть включен в снаряжение резиновой спасательной лодки для собирания дождевой воды. Если известны количество осадков и средняя температура воздуха поверхности океана в определенной зоне и в определенное время года, то данные таблицы дают сведения о том, сколько квадратных сантиметров водосборной площади требуется для накопления воды в количестве, эквивалентном водному дефициту 1 человека.

Таблица 57

ПОВЕРХНОСТЬ, ТРЕБУЮЩАЯСЯ ДЛЯ СБОРА ДОЖДЕВОЙ ВОДЫ В КОЛИЧЕСТВЕ, НЕОБХОДИМОМ ДЛЯ 1 ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

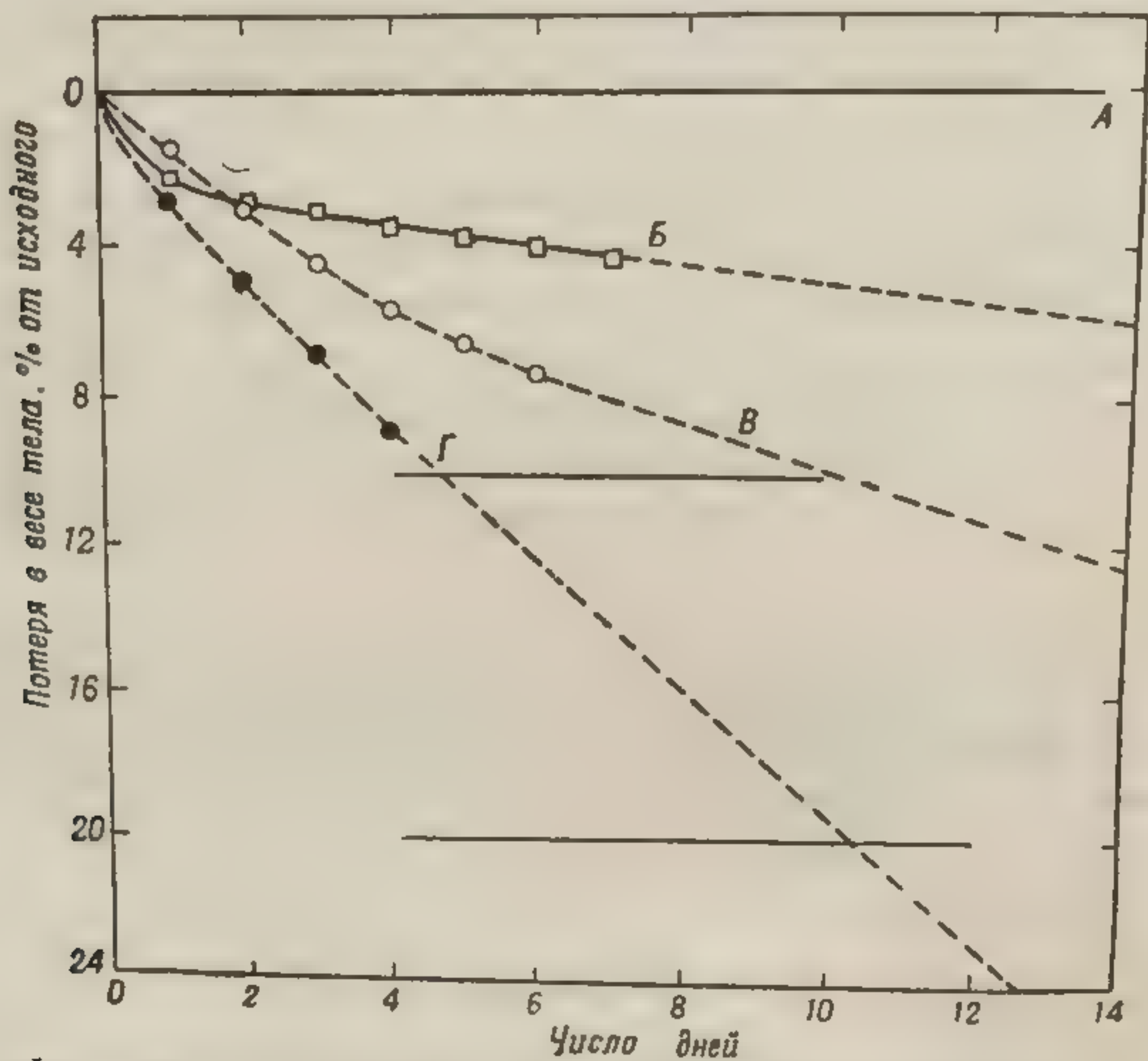
Средняя температура воздуха, °C	Суточная потеря воды, кг	Поверхность (дм ²) для сбора дождевой воды при количестве осадков в неделю, см							
		0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0	7,5
32	2,94	80,8	40,8	20,4	19,9	10,2	8,3	3,7	2,7
27	1,89	52,0	26,0	13,0	8,3	6,5	5,1	2,7	1,8
21	1,54	42,7	21,3	10,2	7,4	5,5	3,7	1,8	1,3
16	1,40	39,0	19,5	9,2	6,5	4,6	3,7	1,8	1,2
10	1,33	36,2	18,5	9,2	6,5	4,6	3,7	1,8	1,2
4,4	1,26	34,3	17,6	8,3	5,5	4,1	3,4	1,8	1,1

Данные табл. 57 требуют поправок, так как при собирании дождевой воды часть последней теряется вследствие загрязнения и сильной качки. В некоторых местах и в некоторые периоды даже при хорошем оснащении удастся собрать только 25% выпавшей дождевой воды. Однако в других условиях возможно собрать дождевую воду почти без потерь.

Степень обезвоживания организма на море

Вышеприведенные данные о потере воды организмом человека на море относились к людям, питающимся нормально и находящимся в резиновой спасательной лодке лишь в течение нескольких часов. Что же произойдет при длительном пребывании на воде? Будет

ли потеря воды уменьшаться? Усиливает ли отсутствие пищи обезвоживание организма? В жаркой пустыне дегидратация развивалась так быстро, что наблюдение ограничивалось только первыми 24 час.; на море она может оказаться, настолько замедленной, что человек сможет сохранить жизнь в течение многих дней.



Фиг. 135. Потеря веса тела у испытуемых, находившихся в спасательных резиновых лодках. А — вес тела не изменяется; Б — ограниченное количество пищи, избыток воды; В — отсутствие пищи, неограниченное количество воды; Г — ограниченное количество пищи, отсутствие воды. Пунктирные линии являются экстраполяциями.

Мы располагаем данными о потере веса тела у людей, находившихся в резиновых надувных лодках без питьевой воды в течение 4 дней (фиг. 135). Что произошло бы дальше, можно предположить путем экстраполяции. Дефицит веса тела, повидимому, нарастает медленно. В течение тех дней, когда нарастает дегидратация, организм кроме воды теряет и другие вещества. Поэтому невозможно утверждать, что исходный вес тела сохранился, если бы человек не был лишен питья или что потеря веса тела является точным показателем водного дефицита. Следовательно, без воды и пищи или даже при небольшом количестве ее (например, 50 г сладостей в день) вес тела падает быстрее всего. При неограниченном приеме воды, но без пищи вес тела уменьшается почти вдвое медленнее [4, 5]. При наличии 1,5 л воды в день и небольшого количества пищи вес тела сохраняется еще лучше. Возможно, что после

10-дневной (возможный так что де стороны, в такому же количества в потеряли 2 Известно, ствие голо ного веса.

Очевид ся потерей собой разн из двух др меньше во что какая- ное контр что дефици лишенный веса, и е величинам

Из на том, что к ходьбе. находящем привести симости о излишнего что средн тела, есл пищи в т

Время дефицита редь, обу 1. Тем однако, м воздуха за исклю щается в так как окружаю в пределах 2,2—2,8

10-дневной дегидратации на воде, когда вес тела падает на 20% (возможный летальный предел), организм теряет и другие вещества, так что действительная потеря воды не достигает 20%. С другой стороны, вполне вероятно, что потеря твердых веществ ведет к такому же физиологическому истощению, как и потеря равного количества воды. Люди, находившиеся без пищи в течение 30 дней, потеряли 22% исходного веса и затем восстановили свой вес [6]. Известно, что среди военнопленных потеря веса тела вследствие голодания составляет иногда более половины их исходного веса.

Очевидно, можно считать, что либо потеря веса тела определяется потерей воды, либо действительный дефицит воды представляет собой разницу между данными нижней кривой на фиг. 135 и одной из двух других кривых. Мы знаем, что потребность в воде немного меньше водного дефицита, но так как у нас нет уверенности в том, что какая-либо из двух кривых (Б или В) представляет собой истинное контрольное состояние, то мы считаем допустимым принять, что дефицит веса тела равен дефициту воды. Таким образом, человек, лишенный воды, начиная со 2-го дня, ежедневно теряет 2% своего веса, и его водный дефицит можно выражать соответствующими величинами потери веса тела.

Продолжительность существования без воды

Из наших наблюдений в пустыне мы вынесли представление о том, что человек, потерявший 10% веса тела, не способен больше к ходьбе. Возможно, что это верно и по отношению к человеку, находящемуся в море. Пребывание в этих условиях без воды может привести человека в подобное же состояние за 2—5 дней в зависимости от температуры воздуха и принятых мероприятий против излишнего потоотделения. Нет достаточных оснований полагать, что средний человек может перенести больше 20% потери веса тела, если он еще, кроме того, лишен достаточного количества пищи в течение 15 дней.

Время, необходимое для достижения такого предела водного дефицита, зависит от скорости потери воды, которая, в свою очередь, обуславливается следующими факторами.

1. Температура воздуха — наиболее важный фактор, который, однако, меньше всего можно регулировать. Средняя температура воздуха над океаном почти такая же, как и на поверхности воды, за исключением времени около полудня, когда воздух сильно насыщается влагой. Пот может испаряться даже во влажном воздухе, так как тело человека нагревает слои воздуха, непосредственно окружающие его кожу. Дневная температура воздуха колеблется в пределах $1,7^{\circ}$, а сезонные вариации в теплых морях составляют $2,2$ — $2,8^{\circ}$. Так как дневные колебания весьма незначительны, то

достаточно знать среднюю температуру. Для составления прогнозов на разные времена года необходимо учитывать годовые колебания температуры. Средняя годовая температура над тропическими океанами колеблется всего лишь между 24 и 30° , и, следовательно, нужно учитывать температуры между 21 и 32° .

2. Скорость ветра способствует теплоотдаче путем конвекции и поэтому уменьшает потоотделение. Мы считаем общее действие ветра настолько незначительным, что его можно вообще игнорировать; однако все же ветер следует использовать для охлаждения тела.

3. Защита от солнечных лучей, оказываемая одеждой, достаточна для значительного уменьшения потери воды путем потоотделения. Даже в облачную погоду солнечное излучение и излучение небосвода довольно значительны. Однако когда воздух настолько прохладен, что человек начинает зябнуть, следует перемещаться на солнечную сторону, даже с риском возобновления потоотделения.

Защита от излучения имеет значение не только для предохранения от солнечного ожога; общая суточная потеря веса путем потоотделения, вычисленная в полевых условиях, у людей, находящихся на солнцепеке, в 3 раза больше, чем у людей, находящихся в тени. Во всех условиях, при которых потеря организмом воды угрожает жизни, обеспечение людей тенью может увеличить продолжительность существования на 40%. При вычислении продолжительности выживания не учитывалось ни образование воды в результате процессов обмена, ни освобождение воды при процессах катаболизма тканей во время голодания. Каковы бы ни были величины этих поправок, они, несомненно, преувеличили бы вычисленное благоприятное влияние тени или влажной одежды. Кроме того, продление жизни любым путем увеличивает шансы на возможность использования дождевой воды, которая, в свою очередь, способствует дальнейшему продлению жизни.

При температурах $27-31^{\circ}$ влажная одежда в дневное время уменьшает потоотделение на 83% (остается лишь неощутимая перспирация). Таким способом при отсутствии тени можно более чем вдвое увеличить продолжительность существования людей. Экономия воды, обусловливаемая пребыванием в тени, дополняется экономией, которую дает смачивание одежды. В самом деле, люди, находящиеся в тени, могут увеличить продолжительность своей жизни на 70%, если в дневные часы будут поддерживать свою одежду во влажном состоянии.

Все способы смачивания одежды одинаково эффективны. В морях, где нет акул, физически здоровые люди могут просто окунаться в воду. Такой метод опасен для ослабевших людей и, кроме того, имеет тот недостаток, что дно лодки становится мокрым (это происходит также и при обрызгивании друг друга водой). Лучше всего

ПОТЕРЯ
...гружать снят
...За исклю
...является нанту
...количество сол
...действие конце
...Однако этим

...вращениями. На
...ночи: даже при
...и мокрая одежд
...когда морально
...мокрой одежде,
...применения это
...влажная одежд
...ниже 27° и нал
...дискредитирова
...ма уменьшает
...ратурах $18-2$
...уменьшения п
...При температу
...жизнь людей,
...ние.

Мы в своих
...и таким образ
...ствует их появ
...раздражение и
...прекратить см
...При темпер
...одежду морск
...погружавшиес
...ратуре повер
...уменьшается
...за счет испаре
...отдачи путем
...сового опыта
...находившиеся
...мендуем этого

Следует по
...сам заметить
...или одевание
...виях появляе
...использовани
...ни. У 4 испыт
...вышеуказанн
...лась меньше
...в сухой одеж
...с.м. фиг. 13
...21 Э. Адольф

погружать снятую одежду в воду, слегка выжать ее и затем надевать. За исключением небольшого риска порчи одежды этот способ является наилучшим, так как одежда задерживает минимальное количество соли и таким образом предупреждает неблагоприятное действие концентрированной соленой воды на кожу.

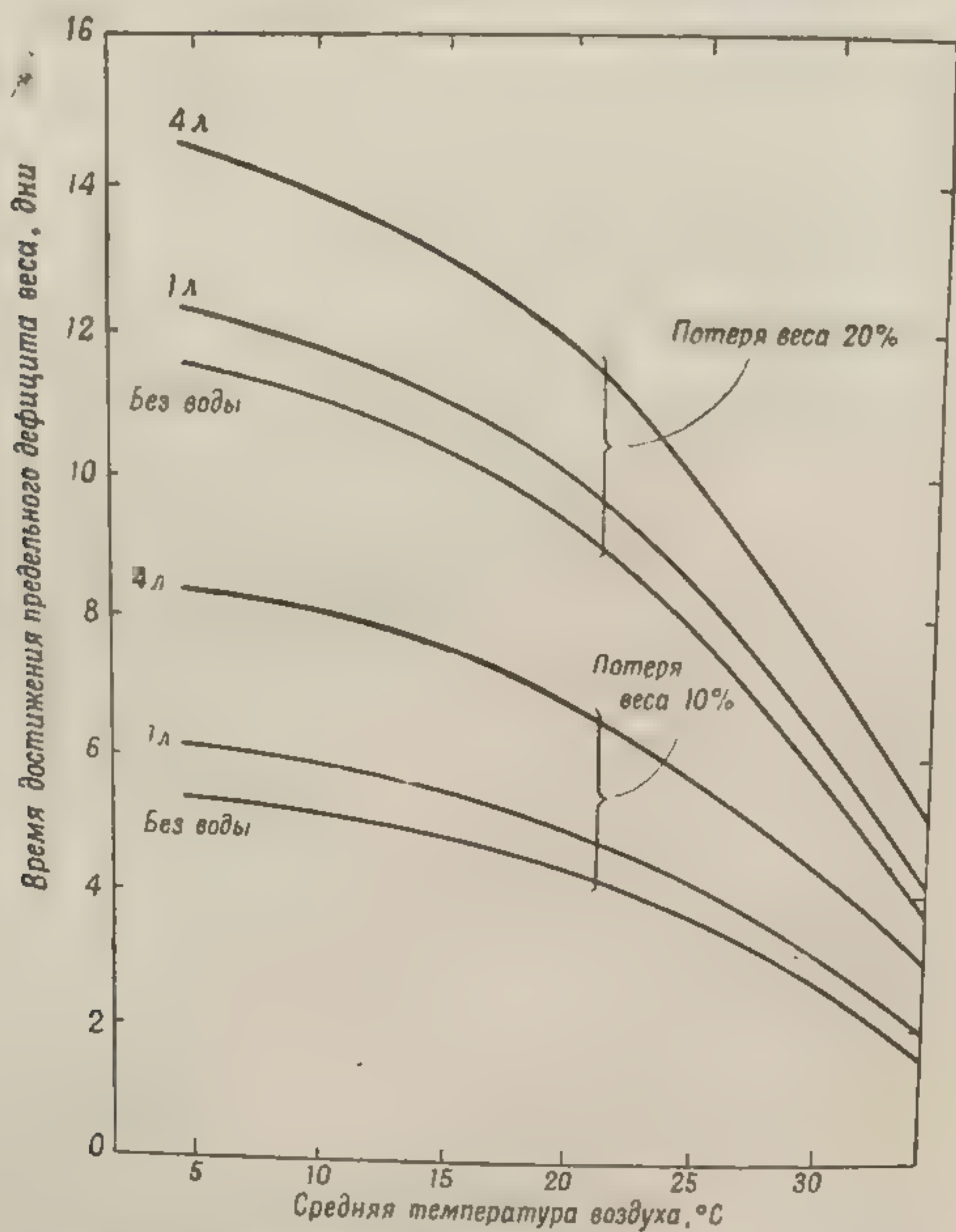
Однако этим способом нужно пользоваться с некоторыми ограничениями. Например, одежду следует высушить до наступления ночи: даже при дневной температуре 27° ночи бывают холодными и мокрая одежда вызывает неприятное ощущение. В тех случаях, когда моральное состояние понижено, одна ночь, проведенная в мокрой одежде, может отбить охоту ко всем дальнейшим попыткам применения этого способа экономии воды. Даже на ярком солнце влажная одежда иногда неприятна; при температурах значительно ниже 27° и наличии ветра эти неприятные ощущения могут сильно дискредитировать данный метод. Так как обезвоживание организма уменьшает продолжительность существования даже при температурах $18-21^{\circ}$, то очевидно, что самым приемлемым методом уменьшения потоотделения следует считать пребывание в тени. При температурах ниже 18° влажная одежда, бесспорно, сокращает жизнь людей, так как холод усиливает их физическое истощение.

Мы в своих исследованиях не встречались с «солевыми ранами» и таким образом убедились в том, что влажная одежда не способствует их появлению. Если морская вода обостряет уже имевшееся раздражение кожи, то болевые ощущения, несомненно, заставляют прекратить смачивание чувствительных мест.

При температуре воздуха 30° испытуемые, смачивавшие свою одежду морской водой, теряли воду не быстрее, чем испытуемые, погружавшиеся в воду (держась руками за край лодки) при температуре поверхности воды $29,5^{\circ}$. Следовательно, потоотделение уменьшается одинаково эффективно как при усилении испарения за счет испарения от влажной одежды, так и при стимуляции теплоотдачи путем проведения при погружении в воду. К концу 2-часового опыта (см. табл. 54, опыт Е, 30 августа) все испытуемые, находившиеся в воде, заявили, что им стало холодно. Мы не рекомендуем этого способа уменьшения потери воды.

Следует подчеркнуть, что человек, сидящий в лодке, не может сам заметить экономии воды, достигаемой путем пребывания в тени или одеванием влажной одежды, так как видимый пот в этих условиях появляется редко. Тень или смоченная одежда при разумном использовании являются важнейшими факторами продления жизни. У 4 испытуемых после 30 час. пребывания в лодке и применения вышеуказанных предохранительных методов дегидратация оказалась меньше, чем у другой группы испытуемых, находившихся в сухой одежде на незатененной лодке лишь в течение 3,5 час. (см. фиг. 134).

4. Следует избегать всякой работы. Весла должны пускаться в ход только в том случае, если потерпевший аварию надеется достигнуть известной цели собственными силами. Работа увеличивает потоотделение и значительно сокращает продолжительность жизни человека, лишенного воды. При вычислении продолжительности существования мы исходили из того, что человек оставался в покое.



Фиг. 136. Зависимость между температурой воздуха и временем наступления предельной потери веса тела при наличии различных запасов воды (на основании данных фиг. 137). Предельная потеря веса тела в состоянии покоя — примерно 20%, при работе — 10%.

5. Время, прошедшее с начала дегидратации, является второстепенным фактором. При 2—10-процентном дефиците воды в организме на образование мочи расходуется несколько меньше воды, чем при нормальном водном балансе. Однако потеря воды путем потоотделения по мере нарастания дегидратации заметно не уменьшается.

6. Пища желательна в небольших количествах, чтобы избежать страданий от голода. Всякий прием пищи, особенно белковой, уве-

личивает объем
сокращено на
обычной; она
При вычисле
из предпосыл

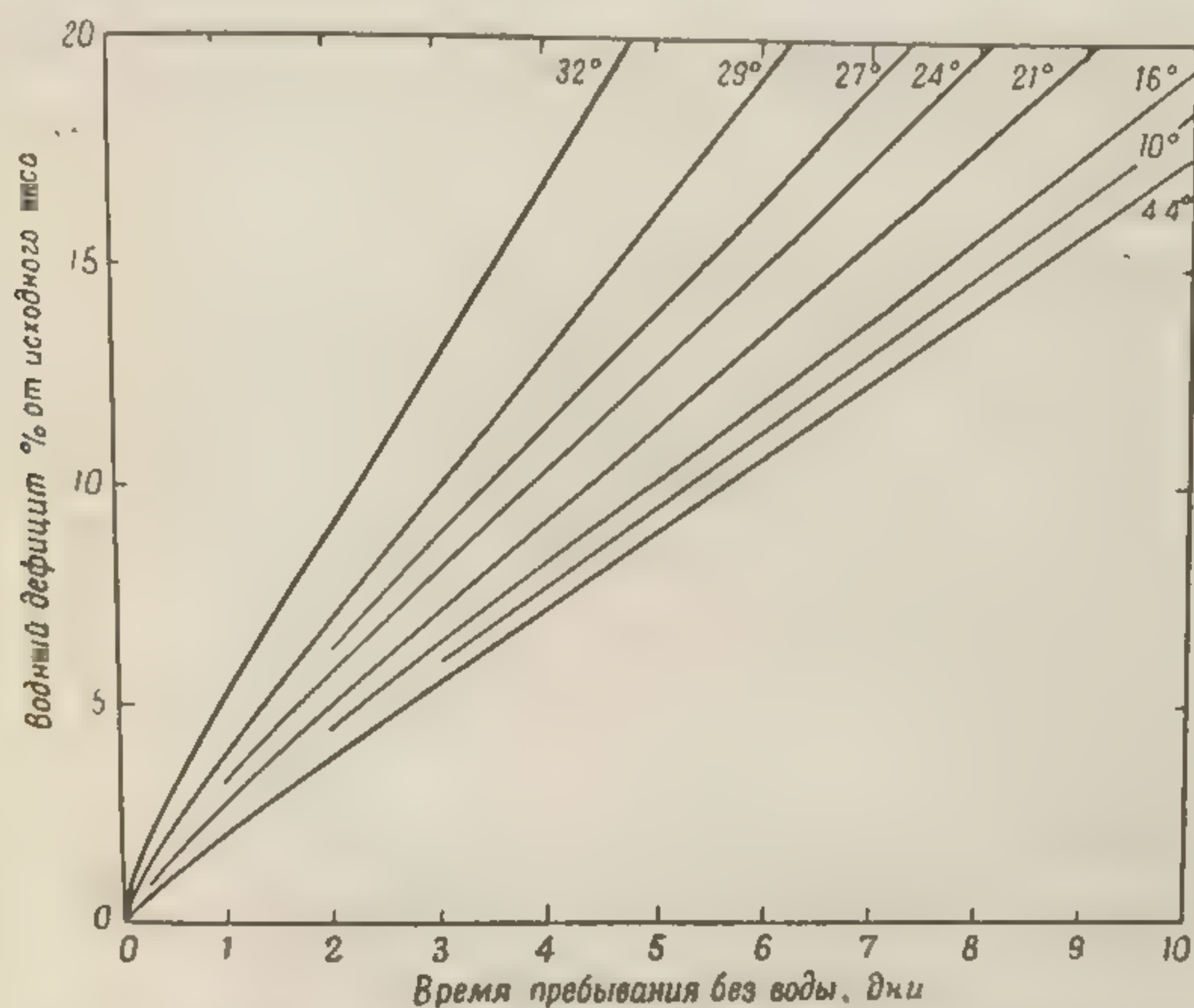
Водный дефицит % от исходного веса

Фиг. 137
быва

7. Аварийный
дельного вод
воды в колич
продлить жиз
ды в аварийн
ное количест
ценности. Пр
ние, чем перв
использовать

На фиг. 133
него человек
господствующ
не потоотдел
Уинслоу с со
тов. Принима
плотных веще
образуется о
незначительн

личивает обезвоживание организма. Количество пищи должно быть сокращено настолько, чтобы ее калорийность составляла 10–20% обычной; она должна быть богата углеводами и бедна белками. При вычислении продолжительности существования мы исходили из предпосылки, что человек получает именно такую пищу.



Фиг. 137. Зависимость между продолжительностью пребывания испытуемых без питьевой воды и степенью обезвоживания организма.

7. Аварийный запас воды отодвигает время наступления предельного водного дефицита (фиг. 136). Очевидно, аварийный запас воды в количестве меньше 5–10 л на 1 человека не может надолго продлить жизнь людей. Включение столь большого количества воды в аварийное снаряжение неосуществимо. Поэтому предусмотренное количество аварийной воды не имеет большой практической ценности. Приспособления для сбора воды имеют большее значение, чем первоначальный запас воды, так как при их помощи можно использовать дождевую воду.

На фиг. 137 показаны изменения процесса дегидратации у среднего человека, дрейфующего без воды в море, в зависимости от господствующей температуры воздуха. Основные данные о величине потоотделения заимствованы у Хоуфтона с сотрудниками [7], Уинслоу с сотрудниками [8] и из результатов наших полевых опытов. Принималось, что в сутки теряется с мочой около 900 мл воды, плотных веществ — около 200 г, а в результате процессов обмена образуется около 400 г воды. Однако все эти коррективы весьма незначительны.

По данным фиг. 137 можно предсказать время, требуемое для достижения того или иного дефицита веса тела. Подобные прогнозы для 10 и 20-процентного дефицита веса тела (т. е. соответственно для предела выносливости в отношении ходьбы и предельной продолжительности выживания) указаны на фиг. 136. На основании всех перечисленных факторов можно установить время, требуемое для достижения предельного дефицита веса тела у людей, потерпевших кораблекрушение. При отсутствии каких-либо источников воды наиболее важным фактором является температура воздуха.

Выводы

1. Определение потери воды людьми, находящимися в спасательных лодках при температуре воздуха 30° , дает возможность вычислить максимальную потребность в воде на довольно значительные промежутки времени. Эти потери зависят главным образом от температуры воздуха.

2. Воду, содержащуюся в организме человека, можно сэкономить пребыванием в тени и смачиванием одежды. Другие факторы имеют меньшее значение.

3. Питьевая вода, необходимая для возмещения потери, может быть получена из разных источников. Одним из них являются дожди; мы показали, что в большинстве случаев в океане можно легко собрать дождевую воду в количестве, достаточном для поддержания водного баланса.

4. Установлена степень дегидратации, возникающая в разных условиях. Мероприятия для снабжения водой рассматриваются с точки зрения снабжения количеством воды, достаточным для предупреждения дегидратации.

5. Продолжительность жизни людей без воды, можно предсказать постольку, поскольку можно предвидеть климатические и другие условия как на море, так и на суше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gamble J. L., *Proc. Am. Philos. Soc.*, 88, 151 (1944).
2. Houghton F. C., Teague W. W., Miller W. E., Yant W. P., *Heating-Piping*, 3, 493 (1931).
3. Winslow C. E. A., Herrington L. P., Gagge A. P., *Am. J. Physiol.*, 120, 1 (1937).
4. Howe P. E., Mattill H. A., Hawk P. B., *J. Am. Chem. Soc.*, 33, 568 (1911).
5. Fitcher P. H., Consolazio W. V., Pace C., *War Med.*, 5, 203 (1944).
6. Jackson C. M., *The Effects of Inanition and Malnutrition upon Growth and Structure*, Philadelphia, Blakiston, p. 72 (1925).
7. Houghton F. C., Teague W. W., Miller W. E., Yant W. P., *Heating-Piping*, 3, 493 (1931).
8. Winslow C. E. A., Herrington L. P., Gagge A. P., *Am. J. Physiol.*, 120, 1 (1937).

ФИЗИОЛОГ

В предыд
ские реакци
ни. Мы виде
постоянной
хой атмосфере
тепло из орга
ник вопрос о
ном климате
испарение по
точного тепл
виях тропик
пустыне? Ча
ны путем наб
Флориде спо
стыне Калиф
и физически
двух климат

В качест
умеренного
температурн
Эглин Филд
для этих ме
ских станци
Средняя
термометра
термометра
точного темп
чем в тропи
60% ниже;
стыне — тол
физиологиче
максимально
около 43° и
влажностью

Глава XIX

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЮДЕЙ В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ И ТРОПИКОВ

В предыдущих главах мы рассмотрели основные физиологические реакции человека в условиях жаркого сухого климата пустыни. Мы видели, что в состоянии покоя температура тела остается постоянной благодаря обильному выделению пота, который в сухой атмосфере быстро испаряется и тем самым удаляет избыточное тепло из организма. По ходу наших исследований естественно возник вопрос о физиологическом состоянии человека в теплом влажном климате тропиков. Снижает ли относительная влажность испарение пота и препятствует ли она тем самым потере избыточного тепла организмом? Возникает ли в организме в условиях тропиков такое же физиологическое напряжение, как и в пустыне? Частичные ответы на эти и другие вопросы были получены путем наблюдений, проведенных в 1944 г. в полевых условиях во Флориде способом, аналогичным тому, который применялся в пустыне Калифорнии. Ниже описываются некоторые физиологические и физические данные, показывающие сходства и различия в этих двух климатических условиях.

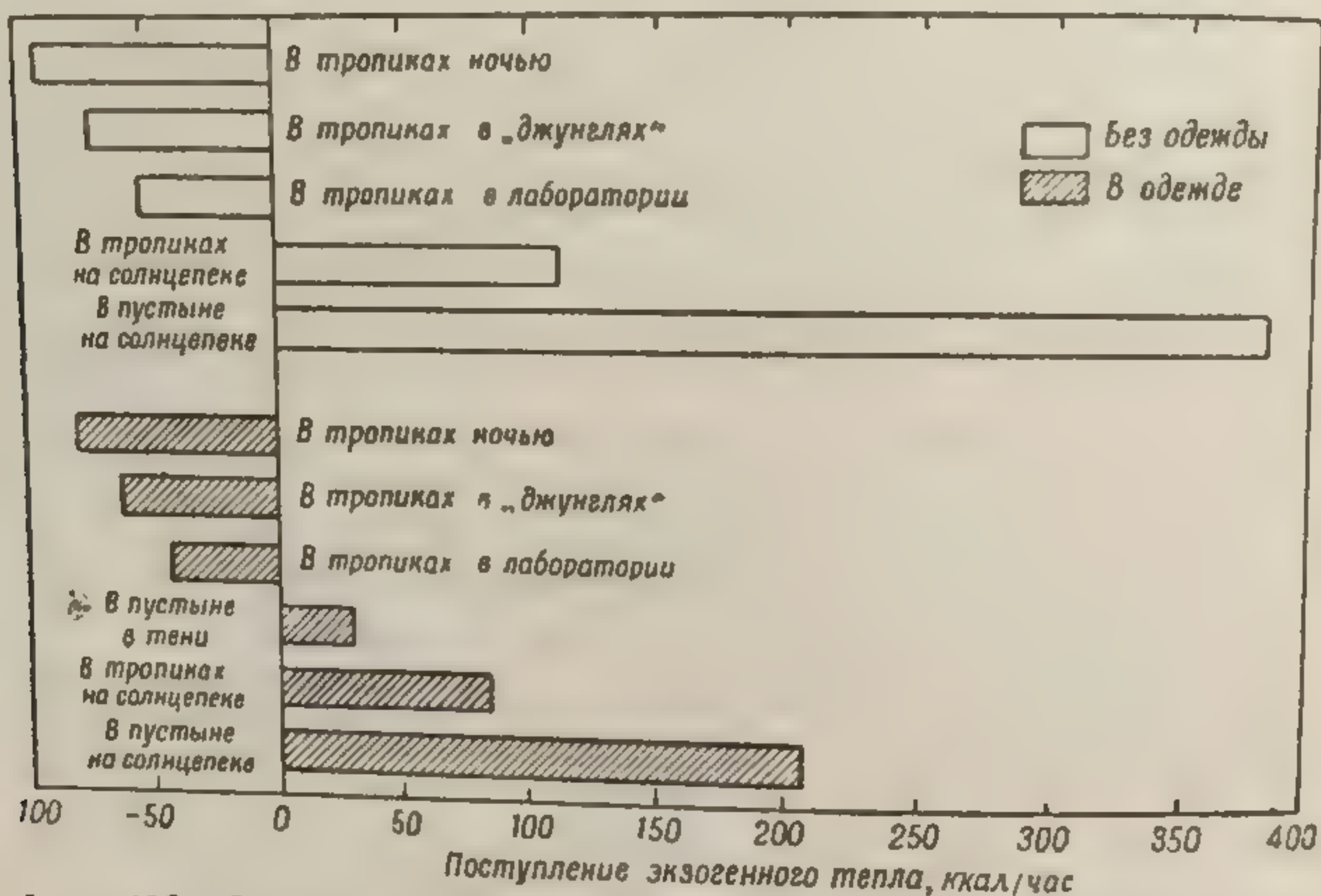
【Сравнение климата тропиков и пустыни

В качестве типичных данных для трех различных условий — умеренного климата, пустыни и тропиков — были взяты суточные температурные циклы в жаркие месяцы в Блайте (Калифорния), Эглин Филде (Флорида) и Рочестере (штат Нью-Йорк). Данные для этих мест были получены с соответствующих метеорологических станций [1].

Средняя суточная температура в пустыне по показаниям сухого термометра на 8° выше, чем в тропиках, а по показаниям влажного термометра — приблизительно на 5° ниже. Колебания среднего суточного температурного цикла в пустыне почти в 2 раза больше, чем в тропиках. Средняя относительная влажность в пустыне на 60% ниже; ночью в тропиках она приближается к 100% , а в пустыне — только к 30% . Какой же климат вызывает наибольшее физиологическое напряжение у человека — жаркая пустыня с максимальной температурой (по показаниям сухого термометра) около 43° или самые жаркие тропики со средней относительной влажностью, в 4 раза превышающей влажность в пустыне?

Физиологическое выражение тепловой нагрузки

В настоящее время нет общепринятого метода для количественного определения нагрузки организма, создаваемой окружающими условиями, путем измерения отдельных метеорологических данных. Однако, как было показано в главе V, количество тепла, получаемого человеком от окружающей среды, можно вычислить путем определения его теплопродукции, аккумулированного тепла и



Фиг. 138. Средние данные о поступлении экзогенного тепла летом в разных условиях. «Джунгли» — небольшой лесок с густым подлеском и сырой почвой.

теплоотдачи путем потоотделения. Определенный таким образом приток тепла можно использовать для сравнения неблагоприятного действия климата пустыни и тропиков.

Средние данные о поступлении экзогенного тепла в различных условиях пустыни и тропиков приведены в табл. 58 и на фиг. 138. Они показывают, что в пустыне на солнце термическая нагрузка для обнаженного человека в 3,4 раза больше, чем в тропиках, а для одетого — в 2,4 раза больше. Отсюда мы можем сделать заключение, что физиологическое напряжение в пустыне также больше, чем в тропиках, и если человек в состоянии покоя может вынести условия пустыни, то он, несомненно, вынесет и условия тропиков. Ниже мы рассмотрим способы учета этого напряжения.

Данные о поступлении экзогенного тепла, приведенные в табл. 58, являются средними для определений, проведенных в разных условиях. В каждом случае количество этого тепла изменялось в зависимости от интенсивности солнечного излучения, температуры

Таблица 58

ПОСТУПЛЕНИЕ ЭКЗОГЕННОГО ТЕПЛА В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА
(в сидячем положении)

Климатическая зона	Число испытуемых	Условия опыта	Температура воздуха (сухой термометр), °C		Интенсивность солнечного излучения, ккал/см ² /мин		Поступление экзотермического тепла, ккал/час
			средняя	пределы	средняя	пределы	

А. Испытуемые на солнцепеке

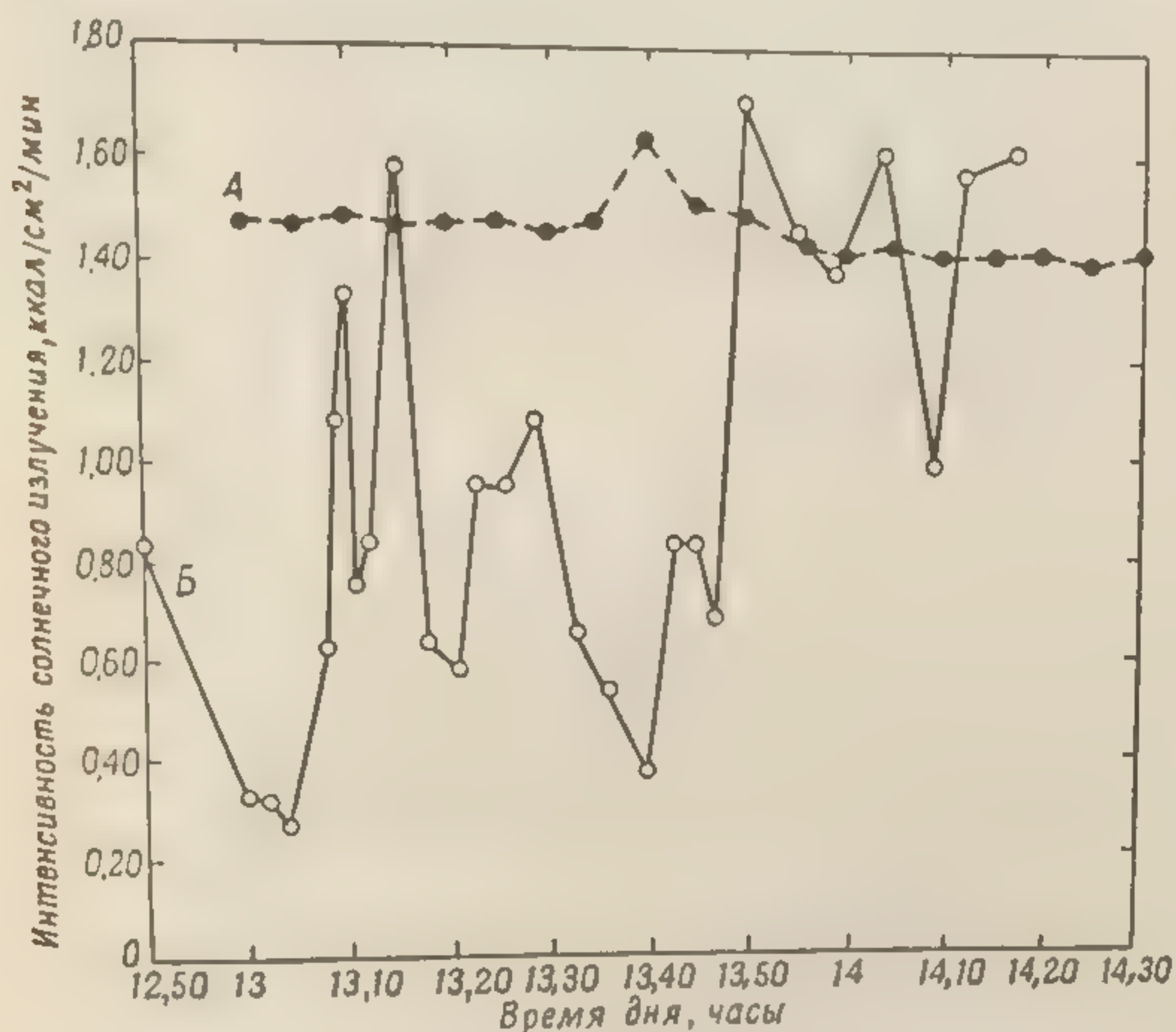
Тропики	12	Без одежды	29,6	28,1—32,5	1,15	0,88—1,45	117
Пустыня	6	Без одежды	40,0	32,2—43,3	1,48 (?)	—	385
Тропики	12	В одежде	30,1	26,8—32,5	1,24	0,94—1,48	85
Пустыня	11	В одежде	37,6	31,9—43,3	1,48 (?)	—	207

Б. Испытуемые в тени

Тропики	2	Без одежды в лаборатории	27,8	27,6—28,1	—	—	—53
»	4	В одежде в лаборатории	28,5	27,6—30,0	—	—	—44
Пустыня	2	В одежде под навесом	36,5	35,5—36,9	—	—	30
Тропики	2	Без одежды в «джунглях»	27,8	26,9—28,8	—	—	—71
»	4	В одежде в «джунглях»	28,7	26,9—29,9	—	—	—62
»	2	Без одежды ночью на открытом воздухе	27,1	27,1	—	—	—93
»	2	В одежде ночью на открытом воздухе	27,1	27,1	—	—	—80

воздуха и других факторов. Фиг. 139 показывает, что приток экзотермического тепла (как для одетого, так и для обнаженного человека) прямо пропорционален увеличению интенсивности солнечного излучения. Так, например, в тропиках на самом сильном солнцепеке обнаженный человек получает около 200 ккал/час, а при слабом солнечном свете — только 25% этого количества, или 50 ккал/час. Одежда снижает приток тепла извне в среднем на 65 ккал/час. Кривые на фиг. 139 построены на основании данных, полученных

человек в пустыне получает больше экзогенного тепла, чем в тропиках, если учитывать дни с максимальным для тропиков солнечным излучением (фиг. 141). Ясно, что в тех случаях, когда интенсивность солнечного излучения в тропиках максимальна и температура (по показаниям сухого термометра) такая же, как и в пустыне (например, 32°), то обнаженный человек как в пустыне, так и в тропиках будет получать из окружающей среды одинаковое количество тепла — около 200 ккал/час. Однако в пустыне температура воздуха



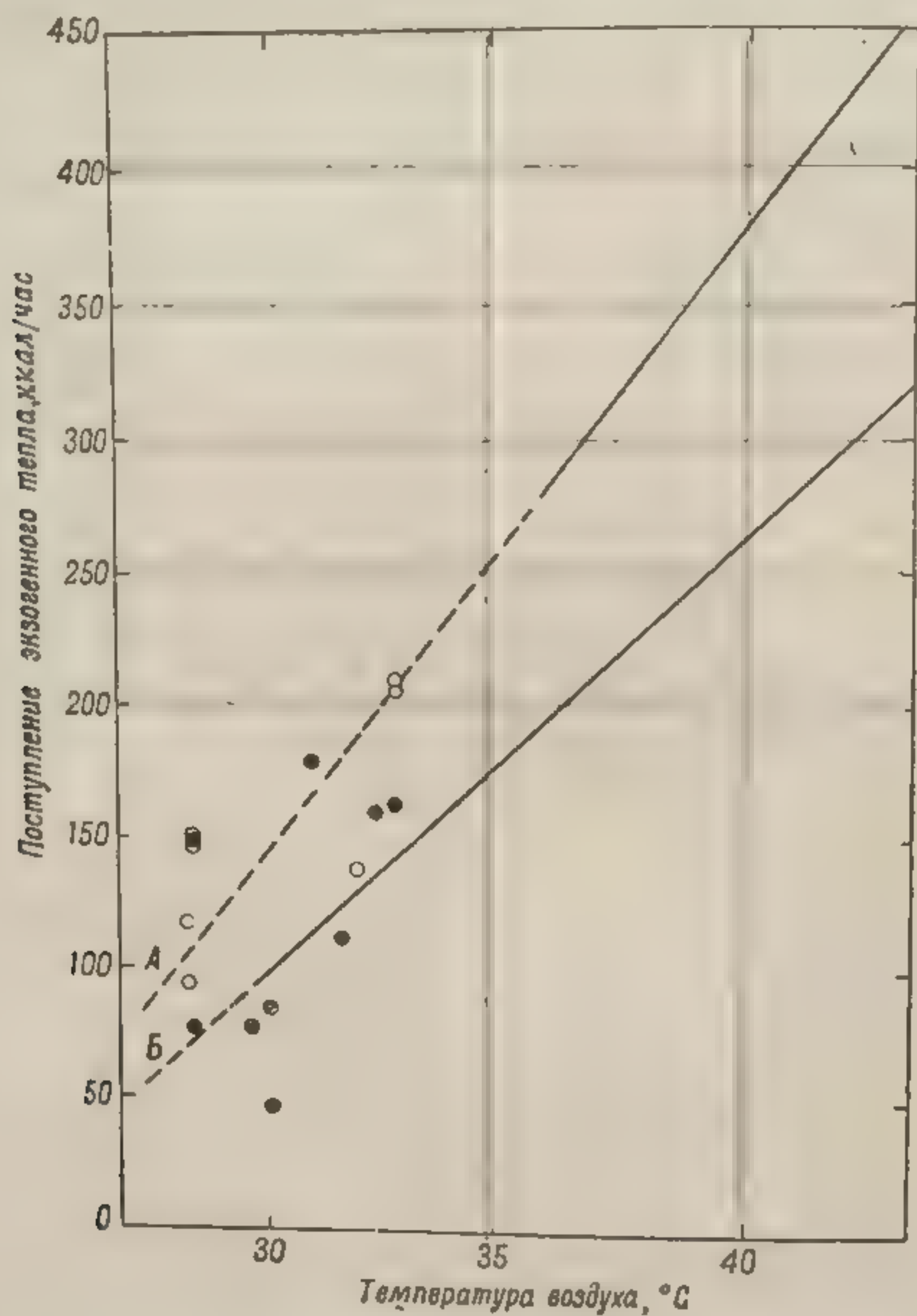
Фиг. 140. Интенсивность солнечного излучения в ясную погоду (A) и при переменной облачности (B). Лагерь Эглин Филд, Флорида. A — 11 августа 1944 г.; B — 6 августа 1944 г.

может быть, и обычно бывает, гораздо выше, чем в тропиках, а при 43° приток экзогенного тепла почти в 2 раза больше, чем при 32° , т. е. около 400 ккал/час. Таким образом, вследствие того, что в тропиках небо закрывается облаками очень часто, а в пустыне очень редко, термическая нагрузка в пустыне в 2—3 раза больше, чем в тропиках.

Нам не удалось показать, что в тропиках относительная влажность увеличивает термическую нагрузку организма. Наибольшая относительная влажность в наших опытах составляла 80%, т. е. относительная влажность была недостаточно высока для того, чтобы подавить потовыделение. Действие инсоляции и температуры воздуха было,

вероятно, слишком сильным, чтобы могло проявиться влияние относительной влажности.

Нам также не удалось обнаружить влияния скорости ветра, хотя средняя скорость ветра в пустыне была в 2 раза больше, чем в тропиках. В этом случае опять-таки действие инсоляции и температуры воздуха было слишком велико для того, чтобы можно



Фиг. 141. Зависимость между поступлением экзогенного тепла и температурой воздуха по показаниям сухого термометра (испытываемые в сидячем положении на солнцепеке). А (○) — без одежды; Б (●) — в одежде. Кружки обозначают отдельные измерения.

было заметить более слабое влияние ветра. Практически все наши определения поступления экзогенного тепла в условиях тропиков проводились на открытом воздухе, где ветер дул со скоростью около 4 м/сек. В густых тропических джунглях, где движение воздуха меньше 0,4 м/сек, тепловая нагрузка должна бы быть больше, но наши определения в этом отношении недостаточно полны. Данные по «джунглям», помещенные в табл. 58, были получены в находящей-

ФИЗИОЛОГИИ

ся около 10% этой роще

Предварительных данных (каждый поход в теплоту, съеденные в гамаке, бить себе до 3-часового для завтрака, но, вследствие жжения воздуха, что он влажность 10% больше, в месте, в мет стороны, те в джунглях за того, что растительность как и на о ряду со сла ностью, слу лях теплов открытой м

Физиологи

Так как в тропиках для физиологические как б показатели напряжений величина п что суточные в тропиках Суточные разом, как между обмочи (табл составляла 2,33 л/сут было в 2,1

ся около лаборатории небольшой роще с густым подлеском, но в этой роще дул довольно сильный ветер.

Предварительное изучение работоспособности человека в тропических джунглях было проведено во Флориде. Партия из 6 человек (каждый с грузом 13 кг) 2 дня подряд совершала пешие походы в течение 3 час. Тщательно учитывалось количество выпитой воды, съеденной пищи и выделенной мочи. Ночью испытуемые спали в гамаках под навесом. Во время ходьбы им приходилось прорубать себе дорогу через густые заросли. Все испытуемые утверждали, что 3-часовая ходьба в густых джунглях, даже при 1-часовом отдыхе для завтрака, крайне изнурительна. Было очень душно, вероятно, вследствие полной неподвижности воздуха. Определение движения воздуха при помощи портативного термоанемометра показало, что оно составляло в среднем только 0,3 м/сек. Относительная влажность в течение дня равнялась в среднем 84%, т. е. была на 10% больше влажности, определенной в то же время на открытом месте, в метеобудке на расстоянии 24 км от «джунглей». С другой стороны, температура воздуха по показаниям сухого термометра в джунглях была на 0,5—1,0° ниже, чем в метеобудке, возможно из-за того, что солнечные лучи не могли проникнуть через густую растительность джунглей и согреть землю до такой же степени, как и на открытом месте. Субъективное чувство недомогания, наряду со слабым движением воздуха и высокой относительной влажностью, служит показателем того, что в густых тропических джунглях тепловая нагрузка, повидимому, значительно больше, чем в открытой местности (также в условиях тропиков).

Физиологическая нагрузка организма в условиях пустыни и тропиков

Так как тепловая нагрузка в пустыне в 2—3 раза больше, чем в тропиках, то можно было бы ожидать такого же соотношения и для физиологического напряжения. На первый взгляд наши данные как будто подтверждают эти ожидания. [Физиологическими показателями, обычно служащими для определения состояния напряжения при высоких температурах, являются частота пульса, величина потоотделения и температура тела. Мы покажем ниже, что суточное потоотделение в пустыне почти вдвое больше, чем в тропиках.]

Суточное потоотделение в тропиках определялось таким же образом, как и в пустыне (см. главу VIII), а именно: в виде разницы между общими количествами выпитой жидкости и выделенной мочи (табл. 59). Величина потоотделения в пустыне у 97 человек составляла в среднем 4,95 л/сутки, а в тропиках у 26 человек — 2,33 л/сутки. Следовательно, выделение пота в пустыне в среднем было в 2,1 раза больше, чем в тропиках. Необходимо напомнить,

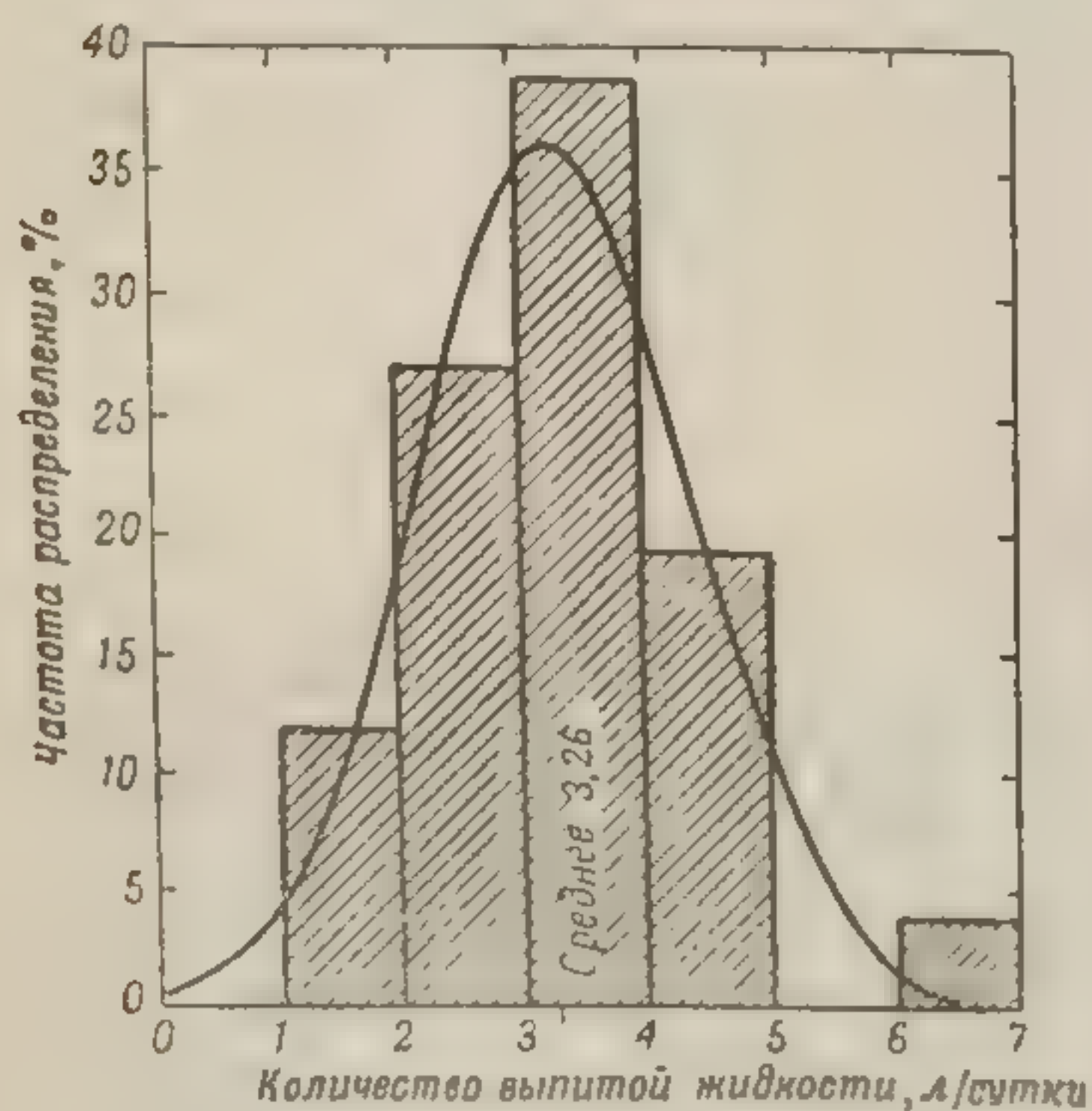
что одетый человек в пустыне получает из окружающей среды в 2,4 раза больше тепла, чем в тропиках.

Таблица 59

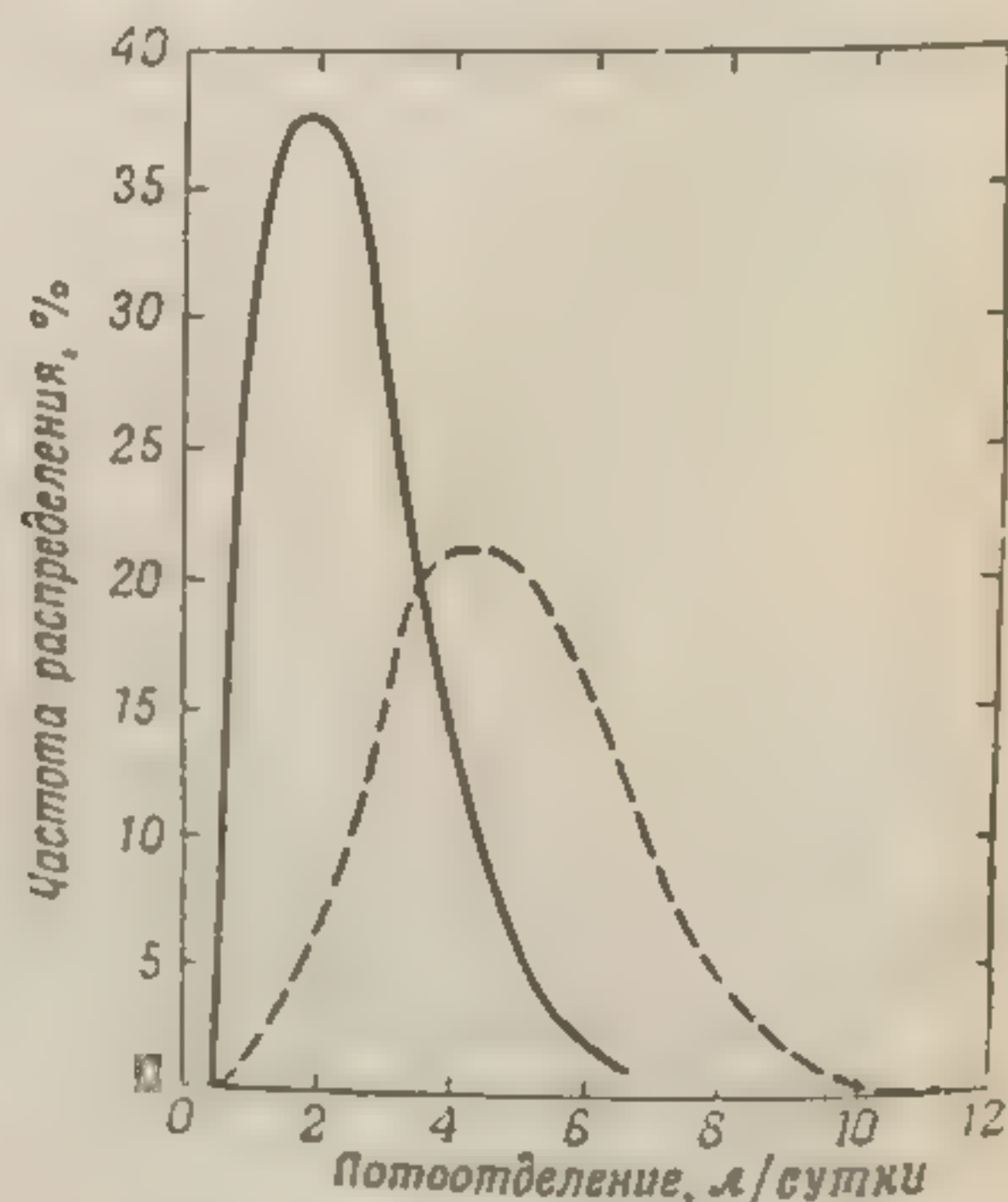
СУТОЧНЫЙ ВОДНЫЙ ОБМЕН В ТРОПИКАХ И В ПУСТЫНЕ

Климатическая зона	Количество выпитой жидкости, л			Объем мочи, л			Потоотделение, л		
	средняя величина	стандартное отклонение	вариационный коэффициент, %	средняя величина	стандартное отклонение	вариационный коэффициент, %	средняя величина	стандартное отклонение	вариационный коэффициент, %
Тропики	3,26	$\pm 1,09$	33,4	0,915	$\pm 0,592$	64,7	2,33	$\pm 1,23$	52,8
Пустыня	5,90	$\pm 2,03$	34,4	0,935	$\pm 0,655$	70,0	4,95	$\pm 2,03$	41,0
Вероятность разницы ¹⁾	0,01			0,88			0,01		

1) Т. е. вероятность того, что разница между средними вызвана случайностью. Когда вероятность $< 0,05$, разница вызывается не случайностью, а другими факторами.



Фиг. 142. Суточное потребление воды в тропиках. Кривая выведена методом площадей.



Фиг. 143. Суточное потоотделение в пустыне и тропиках. Сплошная линия — тропики; пунктирная линия — пустыня.

Гистограммы выпитой воды приведены на фиг. 54 для пустыни и на фиг. 142 для тропиков. На фиг. 143 изображены кривые, показывающие величину потоотделения в пустыне и в тропиках. Эти

кривые частично дают сравнительную картину физиологического напряжения, возникающего в этих двух ситуациях.

В табл. 60 приведены данные по водному обмену, полученные во время вышеописанного похода в джунглях. Эти данные охватывают период в 6 час., из которых 3 часа потрачены на ходьбу. Испытуемый Е не участвовал в первом походе; он оставался для составления метеорологической сводки; потоотделение у него за это время в среднем составляло лишь 48 г/час и выражалось только в неощутимой перспирации. Принимая, таким образом, что в течение 3 час. отдыха терялось в среднем 60 г/час, и вычитая поэтому из средних показателей 180 г, мы получили среднюю потерю воды за счет потоотделения в размере 430 г/час ходьбы. Хотя такая величина потоотделения еще не свидетельствует о большой тепловой нагрузке, все же испытуемые чувствовали себя изнуренными. Во время похода им часто приходилось ходить по колена в воде. Эта вода (при 23°), вероятно, способствовала теплоотдаче как путем проведения, так и путем испарения, и поэтому потоотделение могло в данном случае быть слабее, чем при ходьбе по сухой почве.

Таблица 60

ВОДНЫЙ ОБМЕН В ТЕЧЕНИЕ ПОХОДА
В ТРОПИЧЕСКИХ ДЖУНГЛЯХ
(продолжительность похода 6 час., ходьба в течение 3 час.)

Испытуемый	Количество выпитой жид- кости, л	Общее коли- чество выде- ленной мочи, л	Количество выделенного пота, л
А	{ 1,82 1,82	0,300 ¹⁾ 1,180	1,52 1,64
Б	{ 1,79 —	0,250 ¹⁾ —	1,48 —
В	{ 1,36 ¹⁾ 1,81	0,180 ¹⁾ 0,225	0,92 1,33
Г	{ 2,25 ¹⁾ 0,90	0,350 ¹⁾ 0,390	2,55 ¹⁾ 1,17
Д	{ 1,78 1,73	0,330 0,285	1,41 1,45
Е	{ — 1,29 ¹⁾	— 0,430	— 1,17
Среднее	1,66	0,292	1,46

¹⁾ Интерполированные величины.

Общее физиологическое напряжение можно приблизительно определить при помощи индекса физиологического эффекта Робинсона. Робинзон с сотрудниками [2] объединили разные физиологические реакции организма на тепловую нагрузку в одном показателе, который может служить индексом общего физиологического напряжения. Они называют этот индекс \mathcal{E}_f , что означает физиологический эффект.

Устанавливая этот индекс, Робинзон определял прирост ректальной температуры и температуры кожи, частоты пульса и величины потоотделения по отношению к контрольным цифрам, полученным при 23° . Под наблюдением были испытуемые, акклиматизировавшиеся к жаре. Они сидели или в течение 2 час. производили работу на ступенчатом колесе — тротбане (treadmill) в лаборатории, где были созданы разнообразные комбинации температур сухого и влажного термометров. Во всех опытах движение воздуха составляло $0,8 \text{ м/сек}$. Прирост всех 4 физиологических ингредиентов индекса для каждого положения высчитывался как часть максимального прироста, и все данные складывались вместе. Все одинаковые величины \mathcal{E}_f соединялись кривыми.

Когда \mathcal{E}_f выше 200, каковы бы ни были комбинации температур сухого и влажного термометров, человек был в состоянии работать только в течение 2 час., так как его организм более не мог сохранять теплового равновесия.

При помощи индексов \mathcal{E}_f со значением от 0 (при 23° сухого и влажного термометров) до 200, т. е. до предела выносимого физиологического напряжения, мы вывели (методом интерполяции) величины \mathcal{E}_f . Мы считаем, что для одетых людей, выполняющих работу средней тяжести ($125 \text{ ккал/м}^2/\text{час}$), физиологическое напряжение в тени в пустыне на 50% больше, чем в тропиках (табл. 61). В наших опытах организм человека не подвергался чрезмерному напряжению, но в некоторых условиях, как, например, в закрытом танке или в рудниках [3,4], иногда может быть достигнут предел выносливости.

ИНДЕКС ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА (\mathcal{E}_f)

Таблица 61

Климатическая зона	Величины \mathcal{E}_f			
	средние	процент переносимых амплитуд	верхний предел	процент переносимых амплитуд
Тропики (открытая местность, тень)	25	13	50	25
Пустыня (открытая местность, тень)	35—40	20	75	38

Определение общего физиологического напряжения на основе индекса Робинсона можно производить только в условиях, ана-

ФИЗИОЛО

логичных
еще не от
что солне
как в пу
что для п
дования.

В закл
ка на чел
стностях
этого и ф
в пустыне
физиологи
тропическ
бое движе
весьма не
относитель
ной нагруз

1. B r o o k
dents
2. R o b i n
Phys
3. H a l d a
4. S a y e r
(1921)

логичных тем, которые были созданы в его лаборатории. Индекс еще не определялся в условиях инсоляции, а мы выше отмечали, что солнечное излучение является главной тепловой нагрузкой как в пустыне, так и в тропиках. Поэтому совершенно очевидно, что для пополнения наших знаний необходимы дальнейшие исследования.

В заключение мы можем сказать, что в пустыне тепловая нагрузка на человека в 2—3 раза превосходит нагрузку в открытых местностях тропиков, где тучи часто закрывают солнце. Вследствие этого и физиологическое напряжение, вызванное этой нагрузкой, в пустыне пропорционально больше. Наши познания в отношении физиологического напряжения и вызывающих его нагрузок в тропических джунглях (где значительную роль могут играть слабое движение воздуха и высокая относительная влажность) еще весьма не полны. В открытых тропических местностях большая относительная влажность, повидимому, не является дополнительной нагрузкой для человека в состоянии покоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brooks C. E. P., *Climate, A Handbook for Business Men, Students and Travellers*, London, Benn, 1929.
2. Robinson S., Turrell E. S., Gerking S. D., *Am. J. Physiol.*, 143, 21 (1945).
3. Haldane J. S., *J. Hyg.*, 5, 494 (1905).
4. Sayers R. R., Harrington D., *Pub. Health Rep.*, 27, 116 (1921).

Глава XX

ЖИЗНЬ В ПУСТЫНЕ

Человек жил в пустыне еще с доисторических времен. За это время он многому научился и приобрел большой опыт, значительная часть которого известна только из устных преданий. Мы не пытаемся связать все эти сведения с количественными данными, полученными в настоящее время в результате научных исследований, но некоторые из них, в частности вопросы, касающиеся выносливости, акклиматизации и болезней, заслуживают упоминания.

В предыдущих главах мы так подробно останавливались на водном обмене, что может создаться впечатление, что он является единственным фактором, определяющим физическое благополучие человека в пустыне. В этой главе мы попытаемся определить его роль в общей физиологии человека и установить, что (кроме воды) требуется для поддержания и сохранения здоровья человека в пустыне?

Выносливость

Выносливость — это способность переносить необычную нагрузку и изменять некоторые или все процессы метаболизма. В настоящее время считается, что физиологическая выносливость к условиям пустыни определяется тепловым, водным и солевым обменом (с учетом особой роли кровообращения, функции кожи и пищеварительного тракта). Каждый из этих факторов надо изучать при максимальной нагрузке.

Выносливость к жаре можно определить по температуре и влажности воздуха, при которой человек может выполнять определенную работу. Желательно, чтобы эта работа выполнялась при устойчивом состоянии обмена веществ. Точная зависимость индивидуальной выносливости от атмосферных условий исследовалась только в лаборатории, причем обнаружилось, что выносливость у различных людей была различной (см. фиг. 15). Практически, в каждой группе людей, живущих в пустыне, всегда имеются отдельные лица, которые могут выносить более тяжелые условия, чем другие.

В настоящее время мы не располагаем достаточными данными о том, чем определяется устойчивость к жаре; частично она зависит от развития потовых желез, значительно больше — от приспособляемости кровеносной системы. Куно [1] обнаружил, что число

функционир
мере роста ч
мате, колич
мость сущес
но до настоя
среди войск
являются у
щения, связ
тем было об
в одной и то
боте; следов
нительными

Для пра
работы или
продолжите
ким. Если а
ка проведен
дами работ
иногда необ
виях частот
значительн
(фиг. 144, I)
частота пул
ляла 120 уд
являлась то
мыми выяви
4% веса те
температуре
140 ударов/
далась при
частота пу

Следоват
са на рабо
другими сл
ча может б
личных люд
са, тем бол
в жаркой а
следований,
длительност
татами, пол
в настоящее
этих тестов
людей или

Выносли
делить при
Э. Адольф

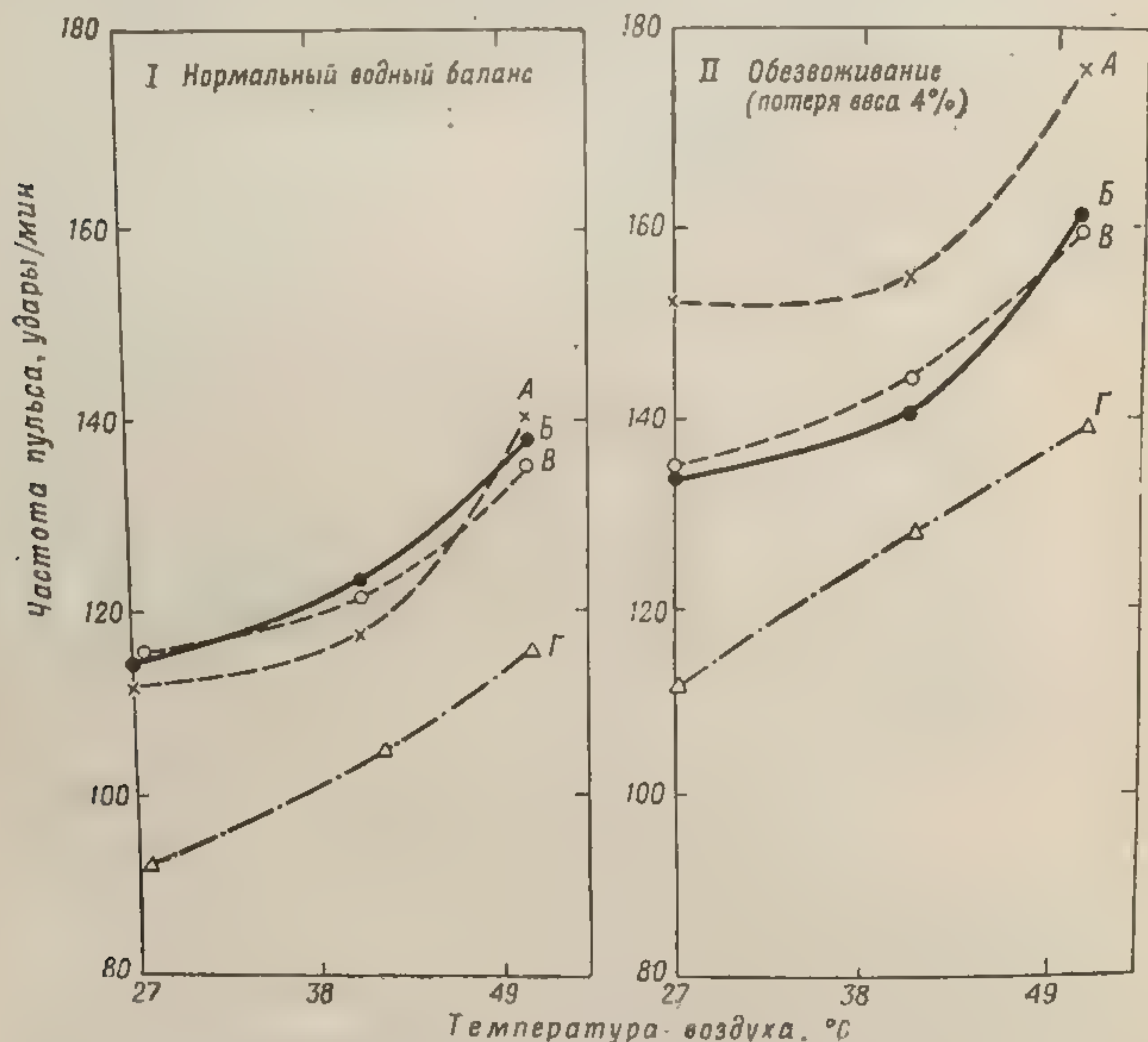
функционирующих потовых желез и их размер увеличиваются по мере роста человека, причем у человека, выросшего в жарком климате, количество желез больше. Возможно, что подобная зависимость существует и в отношении структуры кровеносной системы, но до настоящего времени она не обнаружена. Было отмечено, что среди войск, находящихся в Индии, только те солдаты, которые являются уроженцами этой страны, страдают от теплового истощения, связанного с нарушением кровообращения [2]. Вместе с тем было обнаружено, что люди одной и той же расы и живущие в одной и той же местности, обладают разной выносливостью к работе; следовательно, выносливость определяется какими-то дополнительными факторами [3].

Для практического изучения выносливости людей во время работы или для выявления людей, не пригодных к работе, метод продолжительных физических нагрузок является слишком громоздким. Если акклиматизация уже достигнута и физическая тренировка проведена, для этой цели можно пользоваться короткими периодами работы. При одинаковой интенсивности выполняемой работы иногда необходимо только установить, в каких атмосферных условиях частота пульса достигает определенной величины. Мы нашли значительные различия у 4 тщательно изученных испытуемых (фиг. 144, I). У трех испытуемых при нормальном водном балансе частота пульса при температуре воздуха $38-43^{\circ}$ регулярно составляла 120 ударов/мин, а у испытуемого Г такая частота пульса появлялась только при $54,4^{\circ}$. Дальнейшие различия между испытуемыми выявились тогда, когда дегидратация их организма достигла 4% веса тела; в этом случае у испытуемого А работа при любой температуре воздуха вызывала увеличение частоты пульса выше 140 ударов/мин, у испытуемых Б и В такая частота пульса наблюдалась при температуре 38° , а у испытуемого Г даже при 54° частота пульса оставалась ниже 140 ударов/мин.

Следовательно, люди сильно различаются по реакции пульса на работу, выполняемую при высокой температуре; или, другими словами, температура воздуха, при которой данная задача может быть выполнена без повышения частоты пульса, для различных людей различна. Мы считаем, что чем меньше частота пульса, тем больше выносливость к выполнению механической работы в жаркой атмосфере. Никто, однако, не проводил решающих исследований, т. е. определения выносливости в пустыне в течение длительного периода времени и сопоставления этих данных с результатами, полученными в коротком эксперименте. Следовательно, в настоящее время еще нельзя считать доказанным пригодность этих тестов для определения работоспособности и выносливости людей или отбора их для той или иной работы.

Выносливость в отношении недостатка воды также можно определять при помощи частоты пульса. При 4-процентном водном

дефиците (см. фиг. 144, II) частота пульса у испытуемого А при всех температурах была больше, чем у других испытуемых, в то время как при нормальном водном балансе он ничем не отличался от остальных (см. фиг. 144, I). Следовательно, этот испытуемый при дегидратации не смог бы выполнить работу, которую выполняли



Фиг. 144. Зависимость между средней частотой пульса и температурой воздуха, при которой производится работа. Частота пульса определялась после 8-минутной работы на эргометрическом велосипеде (505 кгм/мин). А, Б, В и Г — испытуемые.

другие, и, вероятно, был бы менее вынослив при ограниченном снабжении водой.

Индивидуальных различий в выносливости по отношению солевой недостаточности обнаружено не было. Однако известно, что в одинаковых условиях некоторые люди выделяют пот с более высокой концентрацией хлористого натрия, чем другие [4]. Можно предположить, что у таких лиц солевое истощение наступает быстрее, и, следовательно, они больше страдают от недостатка соли.

Выносливость кровеносной системы часто подвергалась исследованию, однако никто с достоверностью не может сказать, какие свой-

Зависимость выно-
сности до сих
дой, а, кроме то
лучей. Фу
уже отмечалос
считается бол
количества вод
При определени
необходимо уч
ретенные свойс
е полно. В настоя
могут работать
кровообращения.

Под акклиматиз
ления, которые
множественных
трим два вида
организма.

Акклиматизация
температуры тела, б
отделения, чем
количественное изм
иях, условия эк
стро стандартизи
ождаются хоро
тиризовывающего
и изменяется та
иных было бы о
деляются решающи
е. В каждом из на
сь повторным воз

ства этой системы являются благоприятными для работы в тех или иных условиях. Хотя и можно предположить, что физиологическое состояние человека при выполнении работы или помещении в наклонное положение дает представление о его действительной выносливости, однако это положение еще не доказано [5]. Считается, что у выносливых людей частота пульса, кровяное давление и температура тела в пустыне должны быть низкими. В большинстве опытов по исследованию выносливости фактически измерялась реакция кровеносной системы на то или иное воздействие. Не было установлено, существует ли корреляция между различными свойствами кровеносной системы у людей до акклиматизации и после нее.

Зависимость выносливости от функций кожи и пищеварительного тракта до сих пор изучалась мало; кожу можно прикрыть одеждой, а, кроме того, загар также предохраняет ее от действия солнечных лучей. Функциональное приспособление потовых желез, как уже отмечалось, может быть различным. Пищеварительный тракт считается более выносливым, если он может усвоить большие количества воды.

При определении лиц, наиболее подходящих для жизни в пустыне, необходимо учитывать все эти факторы. Врожденные и приобретенные свойства таких лиц здесь охарактеризованы далеко не полно. В настоящее время выносливыми считаются люди, которые могут работать с наименьшими нарушениями терморегуляции и кровообращения.

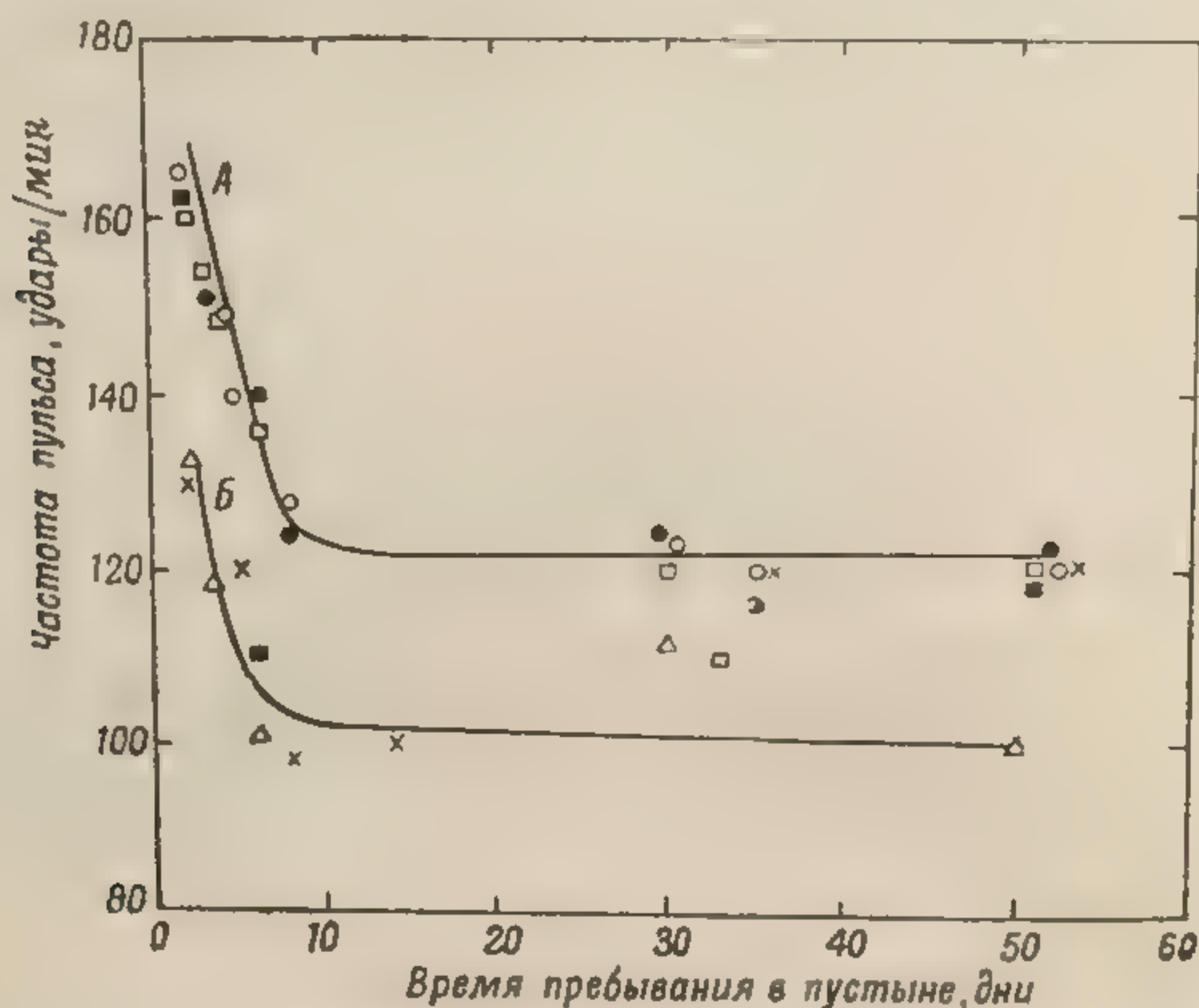
Акклиматизация

Под акклиматизацией мы понимаем те функциональные изменения, которые происходят у людей при продолжительных или многократных воздействиях каких-либо факторов. Мы рассмотрим два вида акклиматизации: к жаре и к обезвоживанию организма.

Акклиматизация к жаре выражается в сохранении более низкой температуры тела, более замедленного пульса и более интенсивного потоотделения, чем до нее [6]. Для того чтобы можно было учесть количественное изменение этих функций при повторных исследованиях, условия эксперимента и активность людей должны быть строго стандартизированы. Наступившие изменения должны сопровождаться хорошим самочувствием, характерным для акклиматизировавшегося человека. Несомненно, что наряду с упомянутым изменяется также и целый ряд добавочных факторов, изучение которых было бы очень полезно. Остается выяснить, какие из них являются решающими для сохранения высокой активности в пустыне.

В каждом из наших опытов, в которых испытуемые подвергались повторным воздействиям, наблюдалась акклиматизация. В этой

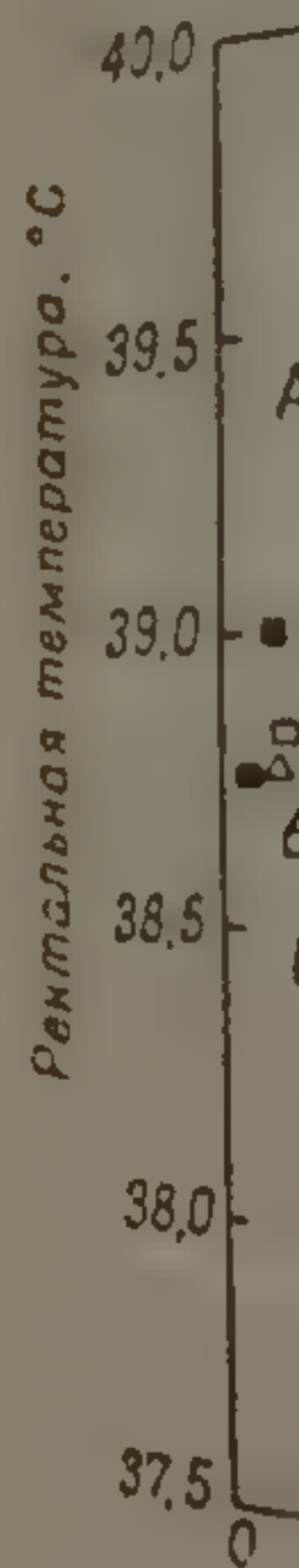
главе мы ограничимся изложением данных, полученных на нас самих во время нашего пребывания в пустыне в 1943 г. При выполнении определенного упражнения частота пульса (фиг. 145) и ректальная температура (фиг. 146) в первый день повышались значительно резче, чем при последующих экспериментах. Большая часть известных нам процессов акклиматизации совершается в течение недели. Так как полное завершение акклиматизации определить



Фиг. 145. Акклиматизация к условиям пустыни. Максимальная частота пульса у 6 испытуемых в дни походов (продолжительностью 50 мин.). А — 4 испытуемых со значительно учащенным пульсом; Б — 2 испытуемых с менее учащенным пульсом. Каждый испытуемый обозначен отдельным значком.

трудно, то возможно, что некоторые изменения продолжают совершаться в течение многих недель. В дни опытов максимальная температура воздуха была почти одинаковой (колебания в пределах 39—42°).

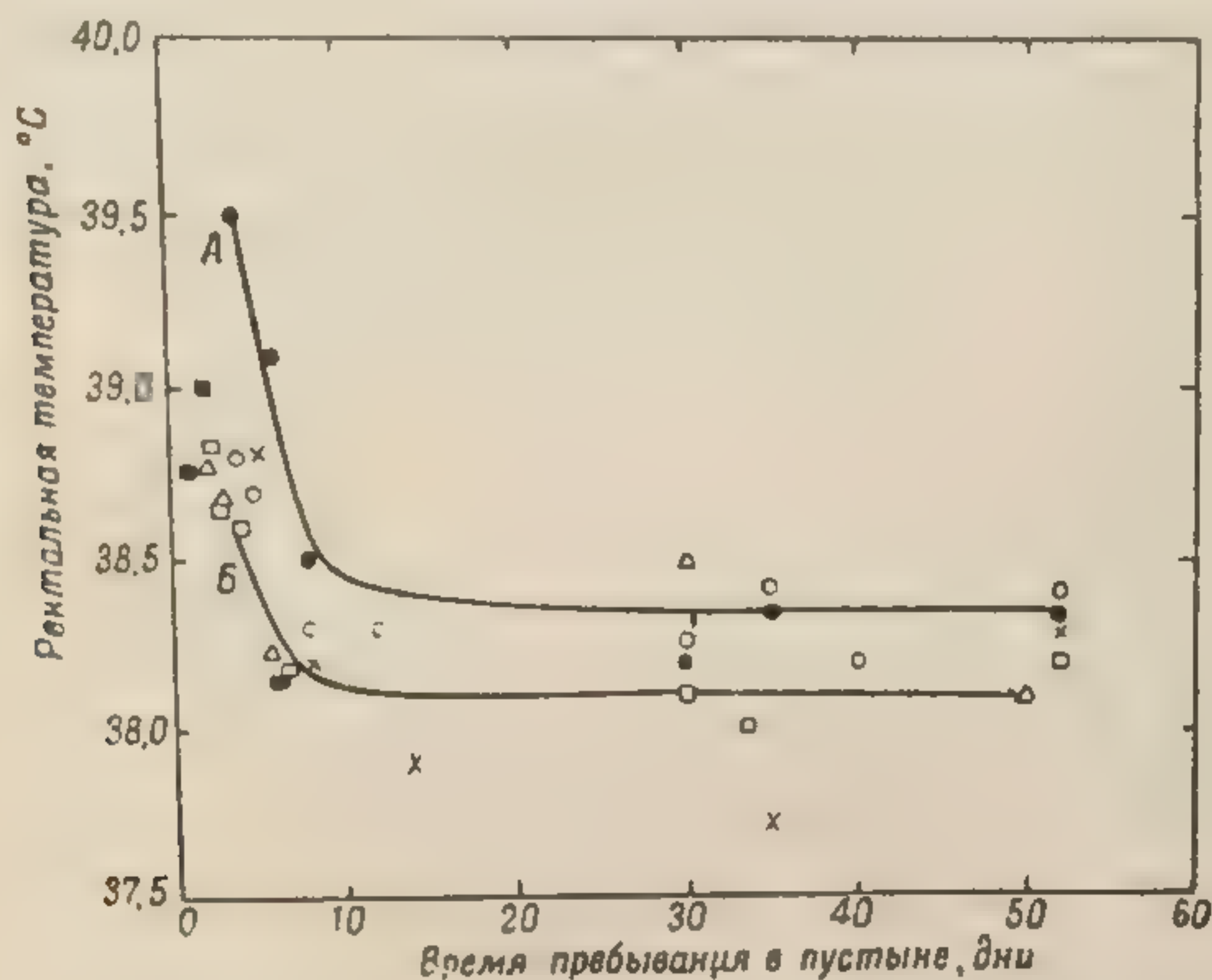
Акклиматизация проявлялась в реакции частоты пульса не только на стандартную работу, но также и на вертикальное положение. Однако ускорение пульса при вертикальном положении было меньшим, а изменения его в течение последующих дней жизни в пустыне слабее, чем при движении, и достигали довольно значительной величины только у 3 человек из 6. В горизонтальном положении частота пульса при акклиматизации не изменялась. По-видимому, кроме жары нужна еще какая-либо нагрузка для ускорения пульса у неакклиматизировавшегося человека.



Фиг. 146. Максимальная ректальная температура (продолжительность походов 50 мин.) в дни походов. А — 4 испытуемых со значительно учащенным пульсом; Б — 2 испытуемых с менее учащенным пульсом. Каждый испытуемый обозначен отдельным значком.

Величина потоотделения во время стандартных упражнений в наших опытах по мере акклиматизации к жаре заметно не изменялась [7].

Несомненно, что при акклиматизации к жаре у человека изменяются некоторые физиологические свойства, но они не определялись количественно. У нас сложилось впечатление, что покраснение кожи, отек рук и легочная вентиляция уменьшаются в течение нескольких последовательных дней опыта. Имеются данные о том,



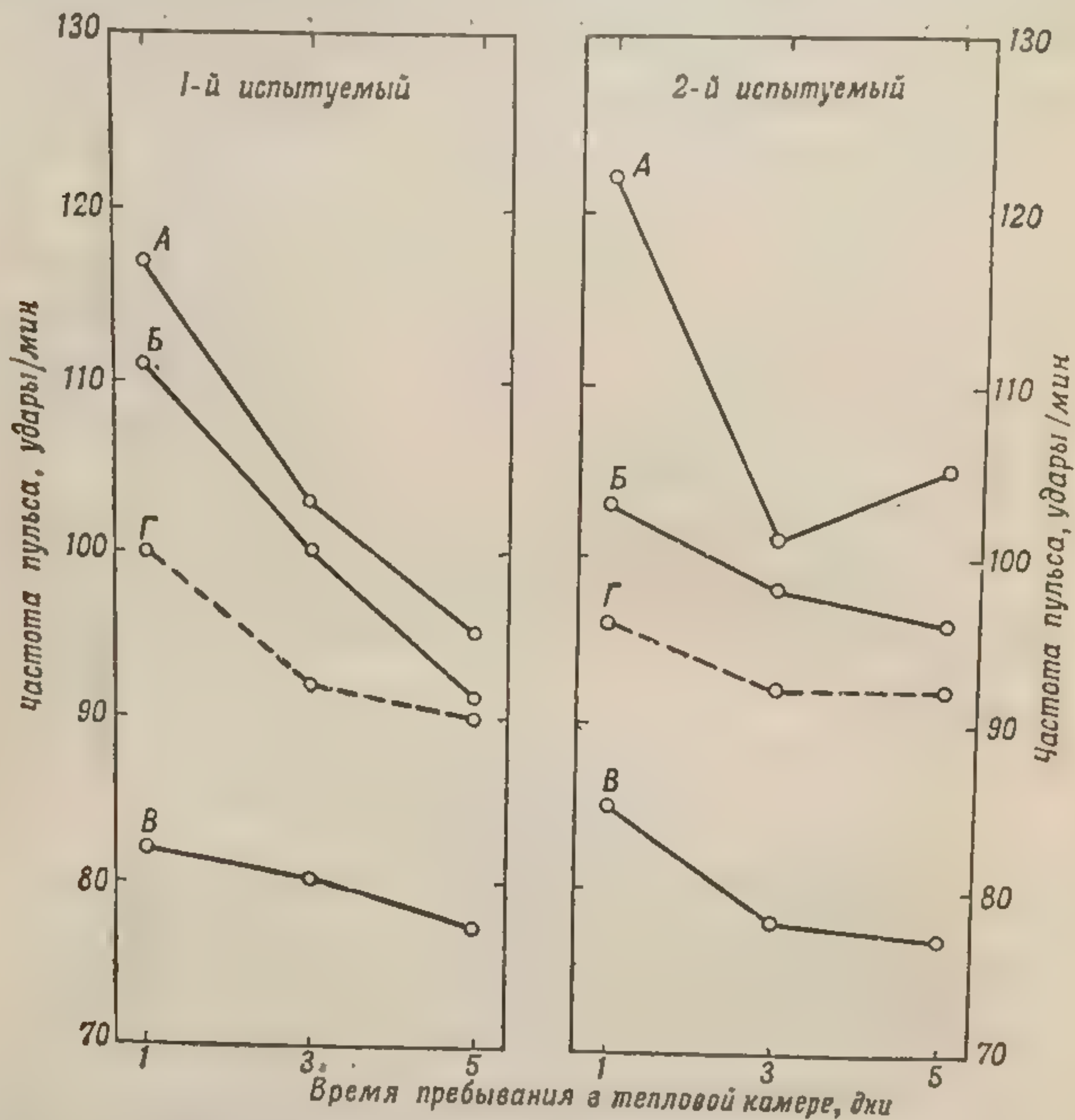
Фиг. 146. Акклиматизация к условиям пустыни. Максимальная ректальная температура в дни походов (продолжительностью 50 мин.). Испытуемые те же, что и на фиг. 145. А — испытуемые с высокой ректальной температурой; В — испытуемые с низкой ректальной температурой. Каждый испытуемый обозначен отдельным значком.

что, когда человек впервые подвергается солнечной радиации, активность потовых желез подавляется. Вследствие этого вновь прибывшие в пустыню люди склонны к перегреванию.

Акклиматизацию к жаре мы наблюдали в нашей лаборатории в нескольких сериях опытов. Согласно сообщению Бина и Эйхна [8], другие исследователи также обнаруживали ее в лабораторных условиях. Первая серия наших опытов оказалась неудачной, акклиматизации мы не наблюдали. Это убедило нас в необходимости стандартизировать активность испытуемых, окружающие условия и способ измерений. В последующих 3 сериях опытов, проведенных в лаборатории над испытуемыми с нормальным водным балансом, было получено полное подтверждение замедления частоты пульса

и понижения ректальной температуры (фиг. 147). При повторных экспериментах пульс слегка замедлялся даже в горизонтальном положении.

До тех пор пока у испытуемых сохранялся нормальный водный баланс, стойких изменений в общей концентрации плазмы (измеряемой при помощи показателя преломления) в лабораторных условиях



Фиг. 147. Максимальная частота пульса и ректальная температура во время 12-часового пребывания в тепловой камере (температура воздуха 49°). А — в стоячем положении; Б — в наклонном положении; В — в лежачем положении; Г — ректальная температура.

обнаружено не было, независимо от того, брались ли пробы до или после воздействия высокой температуры (исследовано 94 пробы крови от 4 человек). Поэтому можно сказать, что в настоящее время известные нам изменения при акклиматизации к жаре ограничиваются изменениями в кровообращении. Однако сомнительно, чтобы повышенная выносливость к жаре при акклиматизации обуславливалась только приспособляемостью кровеносной системы.

Акклиматизация к дегидратации до сих пор не была обнаружена. Мы предприняли специальное исследование с целью выяснения, существует ли такая акклиматизация, так как если она возможна, то было бы разумно подвергать людей дегидратации для тренировки. Каждый последующий случай обезвоживания организма переносился бы с меньшим ухудшением самочувствия, и мы могли бы иметь физиологическую основу для повышения выносливости человека к недостатку воды. В этих опытах мы подвергали испытуемых дегидратации в течение нескольких дней, причем каждый раз они теряли, по меньшей мере, 4,4%, а обычно 6% веса тела. В одинаковых условиях у людей, уже полностью акклиматизировавшихся к жаре, можно было бы установить дальнейшие модификации частоты пульса, ректальной температуры и общей концентрации сыворотки.

Были проведены две серии опытов на 12 испытуемых в тепловых камерах и одна серия опытов — на 5 испытуемых в пустыне. В каждом случае половина испытуемых подвергалась дегидратации через день, а другая половина — только при первом и последнем экспериментах (всего 4—7 экспериментов). Значительной разницы между первой и последней дегидратациями не наблюдалось (табл. 62). При повторных дегидратациях ни частота пульса, ни срок наступления истощения, ни ректальная температура не изменялись в благоприятном смысле. В опытах, проведенных на открытом воздухе, частота пульса после акклиматизации к дегидратации оказалась выше, чем до нее, но так как в двух вышеуказанных сериях наших опытов этот факт не подтвердился, то мы не можем вынести никаких заключений.

Мы тщательно исследовали изменения концентрации и объема плазмы. Если бы после повторных дегидратаций объем циркулирующей крови претерпевал меньшие изменения, это могло бы означать, что у человека можно повысить резистентность к дегидратационному истощению. Немногочисленные ранние опыты показывали, что изменения концентрации плазмы уменьшаются с возрастанием водного дефицита (фиг. 148). Но, в общем, при последующих дегидратациях эти факты подтвердить не удалось ни в лабораторных условиях, ни непосредственно в пустыне (табл. 63), хотя теми же методами была установлена акклиматизация к жаре. Возможно, конечно, что дальнейшее усовершенствование методов работы позволит обнаруживать и небольшие изменения. Во многих случаях выносливость к обезвоживанию организма, в сущности, является выносливостью к жаре, так как человек, акклиматизировавшийся к жаре, может вынести большую дегидратацию.

Вывод об отсутствии заметной акклиматизации к повторным дегидратациям является чрезвычайно важным. Он означает, что люди не могут путем соответствующей тренировки увеличить выносливость к обезвоживанию организма. Они могут приобрести опыт в обнаружении симптомов дегидратации и научиться пре-

Таблица 62

ЧАСТОТА ПУЛЬСА И РЕКТАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА¹⁾

Испытуе- мый	Дата	Ректальная температура при 5-процент- ной потере веса тела, °C	Частота пуль- са в верти- кальном поло- жении при 5-процентной потере веса те- ла, удары/мин
-----------------	------	--	--

I. Обезвоживание при всех 7 экспозициях

А	3.III 1944 г.	38,7	120
	21.III	38,0	119
	24.III	38,5	138
В	3.III 1944 г.	38,4	112
	17.III	38,9	134
	21.III	38,9	132
Г	3.III 1944 г.	38,2	98
	21.III	38,2	108
	24.III	38,3	104

II. Обезвоживание только 3.III и 24.III 1944 г.

Б	3.III 1944 г.	38,4	100
	21.III	38,2	94
	24.III	38,4	108
Д	3.III 1944 г.	38,6	134
	21.III	38,3	130
	24.III	38,4	134

¹⁾ Измерения производились при первом, предпоследнем и последнем обезвоживаниях. В промежутках между измерениями первые 3 испытуемых подвергались обезвоживанию 4 раза, тогда как остальные 2 столько же раз подвергались действию высокой температуры (49°), но не обезвоживанию. При последующих экспозициях значительных изменений не произошло.

одолевать свой страх перед ней, но не могут стать более выносливыми. Сотрудники нашей лаборатории подвергались обезвоживанию организма 15 раз, но не стали более резистентными к водному дефициту, несмотря на акклиматизацию к жаре. Люди, вынужденные временами обходиться без воды, имеют все основания сожалеть об отсутствии акклиматизации к дегидратации. Мы считаем человека приспособленным к жизни в пустыне, если он умеет избегать дегидратации и находить воду, однако его организм так же быстро выделяет пот и так же остро нуждается в компенсации недостатка воды, как и организм новичка.

Таблица 63

АККЛИМАТИЗАЦИЯ К ОБЕЗВОЖИВАНИЮ ОРГАНИЗМА ПРИ ХОДЬБЕ
В ПУСТЫНЕ:

Испытуемый	Дата	Максимальная температура воздуха, °C	Ректальная температура, °C ²⁾	Частота пульса в вертикальном положении, удары/мин ³⁾	Водный дефицит, % от исходного веса тела ³⁾	Изменения разности между показателями преломления ³⁾ , %	Отношение процента изменения разности преломления к проценту изменения веса тела ³⁾
------------	------	--------------------------------------	--	--	--	---	--

I. Обезвоживание при всех 4 экспозициях

А	26.VII 1943 г.	44,4	39,2	138	4,9	10,0	3,1
	28.VII	44,4	38,45	122	4,3	7,2	1,8
	30.VII	40,0	39,0	150	5,1	13,5	2,6
	2.VIII	36,6	38,95	130	5,0	12,4	2,3
Б	26.VII 1943 г.	44,4	38,7	128	4,8	—	—
	28.VII	44,4	38,35	110	3,5	4,6	2,4
	30.VII	40,0	38,7	138	4,6	10,5	1,7
	2.VIII	36,6	38,5	130	4,4	12,1	2,1
В	26.VII 1943 г.	44,4	39,7	142	4,6	5,8	2,5
	28.VII	44,4	38,55	104	4,0	—	—
	30.VII	40,0	38,7	136	4,9	14,4	2,5
	1.VIII 1943 г.	36,6	38,8	132	4,9	15,7	3,2

II. Обезвоживание 26.VII и 2.VIII 1943 г.

Г	26.VII 1943 г.	44,4	38,8	140	4,5	17,0	3,6
	28.VII	44,4	37,6	86	0,7	—	—
	30.VII	40,0	38,6	118	0,8	10,2	—
	2.VIII 1943 г.	36,6	38,25	126	4,7	14,6	3,1
Д	26.VII 1943 г.	44,4	39,0	124	4,4	8,3	1,8
	28.VII	44,4	37,85	86	0,6	—	—
	30.VII	40,0	38,3	112	1,2	0,0	—
	2.VIII 1943 г.	36,6	38,8	132	4,7	9,9	2,5

1) 5 человек прибыли в пустыню за 7 дней до опыта и до него не подвергались обезвоживанию.

2) Окончательные цифры.

3) Данные получены из 4 измерений с часовым интервалом.

Патологические состояния у людей в пустыне

Как правило, болезни в пустыне редки. Тяжелое состояние, в котором иногда оказываются люди, можно отнести за счет жары

и интенсивной радиации [9]. Нарушения, непосредственно вызываемые действием жары и недостатком воды и соли, обычно определяются как тепловой удар, тепловое истощение, дегидратационное истощение и тепловые судороги. Эти состояния нельзя резко разграничить, и они часто встречаются в комбинациях друг с другом,

однако все же можно охарактеризовать типичные черты каждого из них.

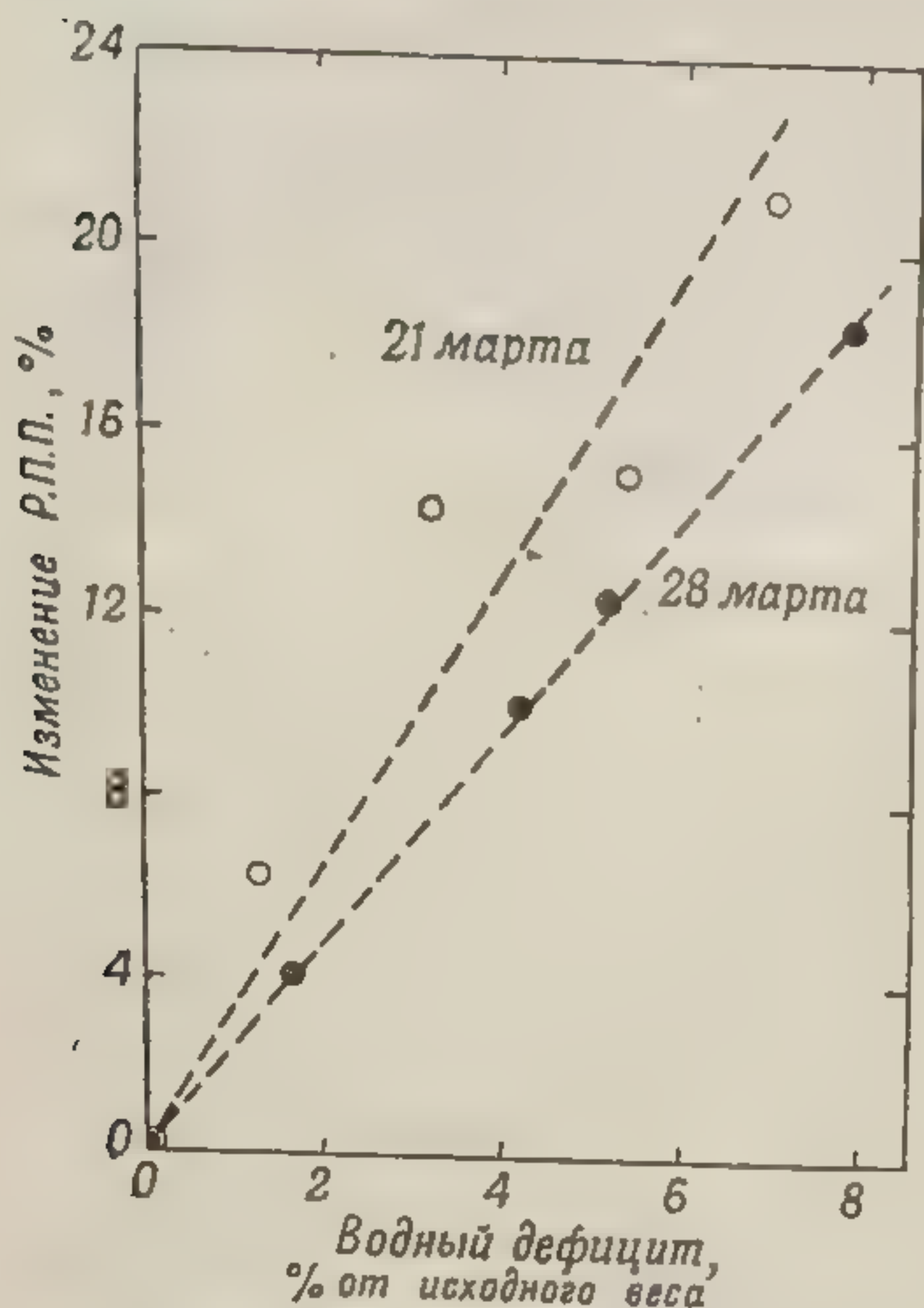
Симптомами теплового удара являются высокая температура тела, возбудимость, прострация и бред. Потоотделение часто уменьшается или приостанавливается; во всяком случае теплоотдача становится явно недостаточной. Облегчить состояние больного могут быстрое смачивание кожи водой, введение жидкости и покой. Перегревание неизменно требует самого срочного вмешательства. К счастью, этот синдром возникает крайне редко; мы наблюдали его только один раз у неакклиматизировавшегося человека, подвергнутого действию высокой температуры в тепловой камере.

Тепловое истощение выражается в слабости, учащенном слабом пульсе (особенно в вертикальном положении) и небольшом повышении температуры тела. Это состояние вызывается не недостаточной теплоотдачей, а недостаточной циркуляцией крови потому, что

оно облегчается в лежачем положении и до некоторой степени ослабляется при введении жидкости. Мы исследовали это состояние как в лаборатории, так и в полевых условиях до наступления акклиматизации к жаре. В большинстве случаев акклиматизация предохраняет от теплового истощения.

Дегидратационное истощение имеет те же симптомы (они уже обсуждались в главе XIII). Восстановления сил нельзя достичь только покоем; необходимо возместить потерю воды в организме.

Тепловые судороги представляют собой проявление крайней неспособности к жаре и работе. Главными симптомами являются боли и мышечные судороги с сужением зрачка при каждой судороге. Повидимому, это состояние вызывается недостатком в



Фиг. 148. Зависимость между концентрацией сыворотки (разность между показателями преломления) и водным дефицитом во время 1-го и 4-го обезвоживания организма. Последующие испытания не подтвердили кажущегося эффекта акклиматизации. Каждый кружок обозначает отдельное определение.

1. Kuno
2. Stott
3. Dreos
4. Dill D
5. Press
6. Adolp
7. Adolp
8. Adolp
9. Bean
Caste
1938.

теле хлористого натрия, так как оно облегчается приемом соли или солевых растворов.

Очень важно, что все четыре патологических состояния облегчаются введением жидкости (внутривенно или через рот), а наступление их можно отсрочить покоем. Поэтому перед назначением лечения вряд ли необходим дифференциальный диагноз. Все эти состояния ясно говорят об отсутствии выносливости к тем или иным изменениям, вызываемым условиями пустыни: к избытку тепла, недостаточности кровообращения, недостаточности воды и соли.

Очень редко нарушается какая-либо одна функция организма, не сопровождаясь нарушением остальных. Следует указать на появление поносов. Поносы представляют собой почти эндемическое явление в расположенных в пустыне лагерях; повидимому, они вызываются инфекцией, но при этом организм человека лишается воды, соли и пищи. Все эти вещества теряются быстрее, чем в обычных условиях, причем одновременно затрудняется их всасывание. Такое состояние следует каким-либо образом облегчить, и часто единственным средством служит внутривенное вливание жидкости. Во всяком случае чрезмерный расход пота и напряжение, которому подвергается кровеносная система, могут predispose к такому состоянию и отягощать его.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuno Y., *Lancet*, 1, 299 (1938).
2. Stott H., *Indian M. Gaz.*, 71, 712 (1936); also in *Guy's Hosp. Gaz.*, 50, 461 (1936).
3. Dreosti A. O., *J. Chem. Met. & Min. Soc. of So. Afr.*, 36, 102 (1935).
4. Dill D. B., *Life Heat and Altitude*, Cambridge, Harvard Univ. Press, p. 39, 1938.
5. Adolph E. F., *Federation Proc.*, 2, 158 (1943).
6. Adolph E. F., *Am. J. Physiol.*, 123, 486 (1938).
7. Adolph E. F., *Am. J. Physiol.*, 123, 486 (1938).
8. Bean W. B., Eichna L. W., *Federation Proc.*, 2, 144 (1943).
9. Castellani A., *Climate and Acclimatization*, 2nd ed., London, Balc, 1938.

Глава XXI

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В этой книге сообщаются современные сведения о физиологии человека в пустыне. Во многих отношениях эти сведения являются неполными, и в будущем физиологам предстоит произвести еще много интересных исследований о жизни человека и животных в пустыне.

Люди, отправляющиеся в пустыню, живо интересуются тем, какие свойства организма благоприятствуют хорошему самочувствию человека в условиях пустыни и как приспособляется организм к необычным условиям окружающей обстановки. На новичков производят сильное впечатление жара и солнечный свет, а также возникающее у них ощущение чрезмерного перегревания. С течением времени вновь прибывшие начинают понимать, что акклиматизировавшиеся люди хорошо себя чувствуют в этих условиях, если у них имеется достаточное количество воды для возмещения испаряющегося пота, что является средством охлаждения организма. При наличии одежды, предохраняющей от действия ветра и солнечного излучения, и достаточного количества питьевой воды люди могут выполнять в пустыне почти такую же работу, какую они выполняли бы в любом другом месте.

Установив величину потоотделения, которая выражается в потере веса, мы имели возможность определить тепловой обмен человека в пустыне. Это открыло нам путь к измерению количества тепла, получаемого от солнца и ветра, а тем самым к оценке практических защитных средств от перегрева.

Потребность человека в воде определялась путем измерения количества выпиваемой и выделяемой жидкости. Количество выделяемой воды вычислялось по количеству выделенной мочи и падению веса тела вследствие потоотделения. В пустыне количество выделяемой мочи несколько меньше, чем в местностях с другим климатом, и она соответственно более концентрирована.

Далее мы изучали влияние окружающей среды и активность людей на величину потоотделения. Мы установили количество выпиваемой за день жидкости и обнаружили, что большая часть его выпивалась во время еды. Было показано, что вся выпитая жидкость необходима человеческому организму, так как чрезмерного выделения мочи не наблюдается.

Человек
жидкости
дневно
выделяет
этого ко
ся 11 л
Такая по
ние по

Человек
статок
когда ч
путем о
обезвож
дефицит
способо
потребл

Все
ном вод
и не да
обезвож
являетс
жет изб

При
вое коли
чем в д
так как
ма конц
ко соот
тела. О
возраста
в тканя
мы и кр
чивается
рующей
ца и яв
которая
вследств
тока кро
ливающей
напряже
Учащен
гания пр
щения.
няется

Обезвоживание организма

Человек, живущий в пустыне, выпивает большое количество жидкости потому, что он должен возместить воду, теряемую ежедневно путем потоотделения. В умеренном климате количество выделяемой жидкости достигает 2—3 л в сутки, причем 50% этого количества составляет моча. В пустыне ежесуточно выделяется 11 л жидкости, и 90% этого количества выделяется в виде пота. Такая потеря жидкости организмом неизбежна, так как образование пота представляет собой единственный способ теплоотдачи.

Человеческий организм способен переносить некоторый недостаток воды. Водный дефицит возникает в организме всякий раз, когда человек не может возместить количество жидкости, теряемое путем секреции и экскреции. Даже при довольно значительном обезвоживании организма потеря воды не уменьшается и водный дефицит продолжает возрастать. В условиях пустыни единственным способом предупреждения и устранения дегидратации является потребление достаточного количества жидкости.

Все изменения, возникшие в организме человека при умеренном водном дефиците (5—10% веса тела), полностью обратимы и не дают остаточных болезненных явлений. Необратимой стадии обезвоживание достигает при 20% падения веса тела; эта стадия является пределом существования при условии, что человек сможет избежать перегрева.

При обезвоживании организма не все ткани теряют одинаковое количество воды; вообще содержание воды в одних тканях выше, чем в других. Потеря воды не пропорциональна ее содержанию, так как в противном случае при данном водном дефиците организма концентрация солей в сыворотке крови увеличивалась бы только соответственно повышению концентрации солей во всех тканях тела. Однако в действительности концентрация сыворотки крови возрастает более чем вдвое по сравнению с концентрацией солей в тканях всего организма. В состоянии обезвоживания объем плазмы и крови уменьшается в таком же соотношении, в каком увеличивается их концентрация. Такое резкое падение объема циркулирующей крови вызывает уменьшение систолического объема сердца и является добавочной нагрузкой для кровеносной системы, которая и без того находится в состоянии чрезмерного напряжения, вследствие необходимости сохранения обильного периферического кровотока, обуславливающего охлаждения организма. Симптомы усиления напряжения кровеносной системы отражают усиление напряжения всего организма при продолжающейся дегидратации. Учащение пульса, повышение температуры тела и чувство недомогания при вертикальном положении говорят о наступлении истощения. К чувству жажды и возрастающего утомления присоединяется тепловое угнетение. Моральное состояние ухудшается

В конечном счете, напряжение, вызванное дегидратацией, в совокупности с другими нагрузками, которые в обычное время человек переносит без труда, становится для организма слишком тяжелым. Наступает дегидратационное истощение.

Синдром дегидратации представляет собой комплекс признаков и симптомов, возникающих в организме при водном дефиците. Тяжесть большинства из них зависит от степени водного дефицита. Например, учащение пульса при вертикальном положении проявляется при дефиците лишь 500 г воды. Было установлено, что эффект от потери каждого грамма жидкости одинаков при дефиците как 500 г, так и 5 кг. В первом случае в кровеносной системе еще сохраняются значительные компенсаторные возможности; при дефиците же в 5 кг способность человеческого организма приспосабливаться к таким неблагоприятным условиям достигает крайних пределов. Напряжение организма, возникающее как у людей, находящихся в состоянии дегидратации, несмотря на то, что они пили воду без ограничения, так и у людей, лишенных питьевой воды, обуславливается тем же нарушением кровообращения. Нередко непроизвольная дегидратация выводит из строя людей, которые не могут понять причины своего недомогания.

Нарушение работоспособности в результате непроизвольной дегидратации является более обычным, чем критическое состояние вследствие нехватки запасов воды. Человек в пустыне находится в хроническом состоянии легкой дегидратации; жажда еще не настолько велика, чтобы заставить выпить лишнее количество воды, и во многих случаях он пьет недостаточно часто, чтобы избежать значительной дегидратации. Обстоятельства, усиливающие это состояние, настолько обычны (недостаток свободного времени, нерегулярные приемы пищи, напряженная работа), что работоспособность людей бывает понижена.

Однако понижение работоспособности человека в пустыне очень редко объясняют недостатком воды в организме; часто вину возлагают на жару, пищевой режим, трудность задания или состояние нервной системы в этих условиях. Однако когда предпринимаются реальные попытки предупредить или уменьшить непроизвольную дегидратацию, то работоспособность человека повышается. Ухудшение морального состояния, являющееся одним из ранних симптомов обезвоживания организма, часто может иметь большее значение, чем сопутствующее ей снижение работоспособности. При нормальном водном балансе человек охотно выполняет задание, которое при умеренной дегидратации и сопутствующем ей подавленном состоянии кажется ему неприятным. Подобно ощущению холода и голода дегидратация также вызывает физиологическое напряжение, но чувство жажды при этом часто отсутствует. Люди, испытывающие медленную дегидратацию, например потерпевшие кораблекрушение, обнаруживают такой же упадок

морального состояния и постепенное истощение. Дегидратация у них осложняется голодом. Однако они не только способны выжить дольше, чем люди, оставшиеся без воды в пустыне, но могут также вынести и большее падение веса тела.

Общие выводы

Ученый, интересующийся вопросами физиологии, медицины или климатологии, может найти в этой работе пужный ему материал. Изучая в пустыне тепловой обмен, мы наблюдали, что человек получает значительное количество тепла из окружающей среды. Что касается водного обмена, то мы установили, что в пустыне он совершается быстрее, чем в любых других условиях. Мы считаем, что человек в течение дня поглощает воду (если она доступна) в количестве, равном ее выделению.

Результаты настоящего исследования дополняют данные наших предыдущих работ по следующим частным вопросам: а) повышение величины водного и теплового обменов у человека; б) признаки и симптомы водного дефицита; в) распределение водного дефицита в тканях тела человека; г) жажда и ее утоление; д) содержание воды в различных тканях организма; е) распределение нагрузки в организме; ж) участие различных компенсаторных факторов в восстановлении организма.

Наиболее конкретными из этих вопросов являются проблема водного дефицита, теплообмена и эквивалентности физиологического напряжения. В настоящее время мы отчетливо представляем себе все разнообразие нарушений, возникающих в человеческом организме при водном дефиците. Напряжение, вызванное дегидратацией, не выражается в виде последовательного нарушения отдельных функций. Многие функции изменяются одновременно, но в разной степени, и все они принимают участие в ослаблении сил организма. У различных людей распределение нагрузки в организме может быть различным, и этим определяется его реакция на действие жары и дегидратацию.

После умеренной дегидратации не возникает хронических нарушений. При возмещении потери воды в организме кровеносная система восстанавливается немедленно. Выделительные функции изменяются только в направлении уменьшения выведения воды из организма вследствие временного уменьшения очищающей способности почек. Все явления, происходящие при дегидратации, ясно указывают на характерные особенности функциональной конституции, непосредственно зависящие от наличия нормального количества воды в организме. Такова физиологическая характеристика явления дегидратации у человека.

Делается понятным также и чрезмерное увеличение теплообмена. В пустыне человек получает от солнечного излучения больше

тепла, чем обычно вырабатывается в его организме в состоянии покоя. В результате этого теплообмен у него усиливается необычным образом. Максимальная интенсивность потоотделения обуславливает предел возможностей организма в отношении теплообмена; фактически человек в состоянии покоя может выносить самые жаркие из существующих климатов.

Анализ эквивалентных напряжений расширяет границы нашего исследования, находящегося пока еще на самых начальных этапах [1]. В то время как холод значительно увеличивает продукцию тепла в организме, жара и дегидратация увеличивают ее только при перегреве тканей; в противоположность этому, жара вызывает ясно выраженные изменения в кровеносной системе, описанные выше. Поэтому частота пульса является удобным критерием реакций на жару и дегидратацию. Акклиматизация, достигнутая путем многократных тренировок, изменяет реакцию организма на действие высокой температуры, но не изменяет реакции на дегидратацию.

Во влажных тропиках ограничение работоспособности человека зависит от невозможности сохранять нормальную температуру кожи путем испарения пота. В пустыне температура кожи сохраняется, но возникает недостаточность кровообращения и кровоснабжения нервной системы. Как жара, так и дегидратация чрезмерно отягощают кровеносную систему.

Учащение пульса было использовано для выражения эквивалентности разных нагрузок на кровеносную систему. Таким же путем можно определить эквивалентность напряжений, обуславливаемых интенсивностью работы, температурой окружающей среды и обезвоживанием организма. В жаркой атмосфере предельные возможности человека обусловлены скорее компенсаторной способностью кровообращения, нежели превращением энергии. С этой точки зрения вся физиология представляет собой лишь установление количественных эквивалентов различных напряжений, так как они позволяют определять взаимодействие разных функций организма в их реакциях на разнообразные воздействия.

Принцип доминирования является правилом для функций организма. Например, терморегуляция в жаркой среде доминирует над регуляцией водного обмена, так как пот образуется у человека при водном дефиците почти так же легко, как и при нормальном водном балансе; последний нарушается для сохранения теплового баланса. Можно привести и другие примеры: у человека, находящегося в состоянии дегидратации, введение пилокарпина вызывает слюнотечение, а избыток растворимых веществ вызывает обильное отделение мочи. Таким образом, мы имеем возможность охарактеризовать человеческий организм в действии путем изучения доминирования физиологических реакций и распределения компенсаторных функций.

Практические выводы

Одежда и укрытие. 1) Полностью одетые люди при температуре воздуха выше 33° теряют меньше воды с потом и получают меньше тепла от солнца и окружающей среды, чем люди, одетые лишь частично. Кроме того, полностью одетый человек меньше подвергается опасности солнечных ожогов.

2) Покрой и материал одежды, повидимому, не оказывают влияния на потоотделение до тех пор, пока одежда достаточно покрывает тело и не препятствует быстрому испарению всего выделенного пота. Пористый тропический шлем является важной частью одежды в пустыне.

3) Белая одежда имеет то преимущество (поскольку это касается теплового обмена), что она отражает большую часть излучения. Мы нашли, что такая одежда не только отражает, но и абсорбирует тепло, которое снова частично уходит в окружающий воздух, прежде чем успеет полностью передаться телу человека.

4) В некоторых условиях, в особенности когда солнечные лучи не падают непосредственно на тело человека и охлаждение путем испарения ограничено (например, в джунглях), снятие одежды, несмотря на усиление теплового обмена, дает значительно большее ощущение комфорта.

5) Люди, лежащие на песке, получают больше тепла и теряют больше пота, чем сидящие или стоящие, так как при этом тепло поступает не только от солнца, но и от нагретой почвы.

6) Кроме одежды в защите от жары очень большую роль играет тень. Об этом свидетельствует более медленное потоотделение у людей, находящихся под различного рода укрытиями, не мешающими естественной конвекции. Желательно иметь с собой брезент, который можно легко развернуть и использовать на самом коротком привале для защиты людей от солнца.

7) Совершенно очевидно, что по мере возможности работу следует производить ночью, так как при этом выносливость и ощущение комфорта сохраняются дольше.

Пища. 1) Потребность в воде у людей в пустыне не изменяется от сокращения количества пищи. Приемы пищи стимулируют жажду; во время еды человек охотнее принимает недостающую его организму воду. Однако это усиление жажды только кажущееся, поскольку люди, находившиеся в состоянии дегидратации, через час после еды добровольно выпивали столько же воды, как и без приема пищи.

2) Когда людям, находящимся в состоянии дегидратации, выходящей в потере 2—3% веса тела, предлагали на выбор пищу, то они избирали свиные консервы, яичный порошок и жирное

печенье. Из опроса выявлено, что при отсутствии воды предпочтение оказывается сладостям и консервам.

3) Фруктовые напитки иногда доставляют удовольствие, но быстро приедаются.

4) Как было установлено определением хлоридов в суточных пробах мочи, люди в пустыне не страдают от недостатка соли в организме. Однако следует всегда иметь запас соли и поощрять широкое употребление ее с пищей.

Потребность в воде. 1) Потребление воды людьми, участвовавшими в маневрах, при максимальной температуре воздуха $38,8^{\circ}$ составляло в среднем 6 л/сутки. Максимальное потребление воды людьми, работающими на солнцепеке, составляло 11,5 л/сутки. Читателю следует напомнить, что средняя температура воздуха в пустыне изредка достигает $40,5^{\circ}$, а максимальная доходит до 49° .

2) Были произведены расчеты потребности в воде соответственно максимальной суточной температуре воздуха и составлены карты, на основе которых можно определить запас воды, необходимый людям в походе. В таких расчетах труднее всего заранее учесть расход энергии, а между тем самая незначительная работа требует добавочного количества воды.

3) Вода необходима для образования пота. Подавление потоотделения нежелательно, так как в пустыне испарение выделившегося пота служит единственным способом теплоотдачи. Ограничение потребления воды не дает экономии, так как вызываемый ею водный дефицит можно устранить только приемом того количества воды, которое старались сэкономить.

4) При повторных обезвоживаниях организма количество образующегося пота не уменьшалось, а следовательно, не уменьшалось и количество выделяющейся при этом воды. Фактически дегидратация существенно не уменьшает выделения воды, посредством которого происходит теплоотдача. Только при уменьшении необходимости в потоотделении, например при понижении поступления тепла, организм человека может сохранить воду в пустыне.

5) Дегидратация, наступающая в результате недостаточного потребления воды, ведет к серьезным нарушениям самочувствия человека. У людей, испытывающих недостаток в воде, смерть наступает не внезапно, а сначала медленно развивается состояние протрации. В это время страдания от чувства жажды стоят на последнем месте. Поскольку в природе не существует никаких заменителей воды, то единственным средством против обезвоживания в пустыне является запас воды как в организме, так и в походной фляге. Наблюдения над продолжительностью выживания людей, лишенных воды, показали, что в наиболее жаркое время года несоблюдение этой предосторожности может стоить жизни.

6) Наши исследования не дали практического метода для облегчения жажды или борьбы с истощением, наступающим в результате недостатка воды.

7) Наличие аварийного запаса воды является важной проблемой. Если человек принужден оставить машину и двигаться пешком к базе, то он должен выпить перед уходом максимальное количество воды. Кроме того, он должен взять с собой всю воду, которую может унести; сосуды, подходящие для этой цели являются важным элементом аварийной экипировки.

Резервуары для воды. 1) Рекомендуются металлические резервуары вместимостью 20—200 л, с сифоном или краном для разлива воды во фляги или кружки.

2) Для больших групп людей запасы воды можно перевозить в цистернах, снабженных многочисленными кранами, чтобы 10—20 человек могли одновременно наполнять свои фляги. Люди работают лучше при нормальном водном балансе; поэтому в полевых условиях прием воды должен быть обставлен всеми возможными удобствами.

3) В пустыне наиболее предпочитаемым напитком является холодная вода. Мешки для воды, охлаждающиеся поверхностным испарением, являются обязательными в пустыне, так как при наличии холодной воды люди будут пить столько, сколько требует их организм.

4) Желательны легкие фляги вместимостью не менее 2 л; этого количества воды обычно достаточно для человека в промежутке между приемами пищи, даже при ходьбе.

5) Наши опыты показали, что при переносе сосуда с водой весом не менее 22,6 кг добавочно выделялось 226,5 г/час пота. Из этого мы заключаем, что перенос больших количеств воды оправдывает себя, если надо пройти пешком значительное расстояние.

Мы хотели бы упомянуть о некоторых более общих практических вопросах. По традиции, для облегчения жажды рекомендуется держать во рту камешек или пуговицу. Считается также, что помогают кислые леденцы. В пустынях войска снабжались такими возбуждающими средствами, как бензедрин и кофеин; повидимому, одно время ими снабжались и немецкие солдаты в Северной Африке. Из наших опытов видно, что у некоторых людей, находящихся в состоянии дегидратации, наблюдалось улучшение самочувствия при употреблении жевательной резинки, у других — при приеме бензедрина, но ни одно из этих средств не приводило к функциональным изменениям (если судить о них по частоте пульса и ректальной температуре) и не утоляло жажды (о чем можно было судить по количеству выпиваемой воды, когда она становилась доступной). Некоторые лекарства, по нашим предположениям,

могли бы облегчить дегидратацию, изменяя распределение воды в различных тканях тела, но подобного эффекта мы не наблюдали ни в походе, ни в лабораторных опытах. Есть основания полагать, что экстракты задней доли гипофиза могут подавлять жажду и перераспределять содержание воды в организме [2], но достаточное количество этих экстрактов можно ввести только путем инъекций. Повидимому, обезвоживание организма нельзя устранить или предупредить паллиативами; только вода оказывается эффективной, и заменить ее нечем.

Наши определения потребности в воде в различных условиях могли бы облегчить планирование снабжения водой воинских частей, караванов или отдельных путешественников. Людям, ведающим снабжением рабочих в пустыне, следовало бы ознакомиться с количественными оценками факторов, оказывающих влияние на потребность в воде в пустыне. В условиях пустыни людей нужно приучать беречь воду, т. е. не тратить ее напрасно и окончательно отказаться от ничем не обоснованного мнения о том, что люди должны пить меньше воды, чем им нужно.

Даже в обычной повседневной жизни в пустыне, когда питьевая вода вполне доступна, происходит непроизвольная дегидратация организма, обуславливающая понижение работоспособности. Его можно избежать или уменьшить следующими мероприятиями: а) соответствующим режимом питания; б) достаточным количеством питьевой воды, по возможности холодной и приятной на вкус; в) избеганием поспешности при приеме пищи и питья; г) отдыхом между продолжительными периодами напряженной работы; д) частыми приемами воды, что более эффективно, чем старание выпить зараз сверх потребности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adolph E. F., *Physiological Regulations*, Lancaster, Pa., Cattell, p. 416 et seq., 1943.
2. Pasqualini R. Q., Avogadro A., *Rev. Soc. argent. de biol.*, 18, 88 (1942).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию	3
Наглядная схема теплообмена	7.
Г л а в а I. Краткое содержание исследований (Э. Адольф и Г. Ран) . .	11
Теплообмен человека	11.
Потребность человека в воде	16
Экономия воды	17
Недостаток воды	20
Г л а в а II. Организм человека в условиях пустыни (Э. Адольф) . . .	23
Что представляют собой пустыни?	23
Общая характеристика проведенных исследований	26
Наши экспедиции в пустыню	27
Климат пустыни	29
Литература	36
Г л а в а III. Теплообмен, образование пота и водный обмен (Э. Адольф)	37
Физическая работа	38
Водный обмен	39
Потеря воды организмом человека	40
Образование пота	41
Кругооборот воды	43
Литература	48
Г л а в а IV. Потоотделение в условиях пустыни (Р. Госселин)	49
Влияние веса тела	50
Влияние величины поверхности тела	52
Другие причины колебаний величины потоотделения	54
Влияние температуры воздуха	55.
Влияние влажности воздуха и скорости ветра	58.
Влияние солнечной радиации	59
Влияние одежды	62.
Физическая работа	63
Максимальные величины потоотделения	65
Влияние обезвоживания организма	65
Выводы	69
Приложение I	
Зависимость между величиной потоотделения и весом тела . . .	71
Приложение II	
Зависимость между потоотделением и температурой воздуха . .	75 .
Приложение III	
Потоотделение при обезвоживании организма в пустыне	79
Приложение IV	
Потоотделение при полетах на различной высоте	81.
Литература	84
Г л а в а V. Теплообмен в условиях пустыни (Р. Госселин)	85 .
Экспериментальная методика и расчеты	86.

Теплообмен одетых испытуемых, находящихся на солнцепеке . . .	93
Теплообмен полубогаженных испытуемых, находящихся на солнцепеке	96
Поступление в организм человека лучистого тепла в условиях пустыни	99
Зависимость между количеством тепла, поступающим из окружающей среды, и потоотделением	103
Выводы	105
Литература	106
Глава VI. Выведение с мочой воды и солей (Э. Адольф)	108
Мочеотделение	108
Концентрация мочи	114
Выведение растворенных веществ	116
Потребность в соли	118
Можно ли сберечь воду путем уменьшения мочеотделения? . . .	121
Литература	123
Глава VII. Потребление жидкости в пустыне (А. Браун)	124
Обычный способ потребления питьевой воды	125
Потребление воды солдатами в лагерной обстановке	126
Потребление воды солдатами во время маневров	127
Влияние временного водного дефицита на потребление жидкости	128
Глава VIII. Потребность человека в воде в условиях пустыни (А. Браун)	130
Факторы, влияющие на потребность человека в воде	131
Определение потребности в воде путем расчетов	136
Экономия питьевой воды в пустыне	137
Уменьшение потребности в воде	140
Испарение воды в целях кондиционирования воздуха	145
Выводы	146
Литература	151
Глава IX. Недостаток воды в условиях пустыни (А. Браун)	152
Проявления обезвоживания организма во время походов	155
Факторы, ограничивающие выносливость человека	157
В каких случаях следует идти на поиски воды	160
Какое расстояние и за какое время может пройти человек в состоянии обезвоживания организма	160
Наиболее эффективное использование ограниченного запаса воды .	164
Прием избыточного количества воды перед началом похода . . .	169
Причины индивидуальных различий в выносливости	171
Возможно ли выработать привычку к недостаточному снабжению водой?	171
Реальность наших прогнозов относительно выносливости человека в походе	171
Выводы	175
Литература	176
Глава X. Изменения крови при обезвоживании организма (Э. Адольф)	177
Объем крови	177
Общая концентрация сыворотки крови	179
Концентрация отдельных веществ в крови	184
Обсуждение	187
Выводы	188
Литература	189
Глава XI. Кровообращение и температура тела при обезвоживании, вызванном действием высокой температуры (А. Ротштейн и Э. Таубин)	190

Частота пульса в условиях пустыни	191
Факторы, вызывающие учащение пульса	192
Колебания в частоте пульса	198
Кровообращение при обезвоживании организма	198
Температура тела в условиях пустыни	209
Зависимость между частотой пульса и температурой тела	214
Практическое применение описанных данных	217
Литература	218
Г л а в а XII. Относительное влияние высокой температуры, работы и обезвоживания организма на кровообращение (<i>А. Браун и Э. Таубин</i>)	219
Литература	230
Г л а в а XIII. Дегидратационное истощение (<i>А. Браун</i>)	231
Сильное обезвоживание организма	231
Синдром истощения в условиях пустыни	240
Почему наступает состояние истощения?	242
Синдром дегидратационного истощения	246
Последствия дегидратационного истощения	250
Литература	251
Г л а в а XIV. Признаки и симптомы обезвоживания организма в пустыне (<i>Э. Адольф</i>)	252
Количественные показатели	255
Обсуждение	260
Смерть от обезвоживания организма	262
Выводы	265
Литература	266
Г л а в а XV. Жажда (<i>Э. Адольф и Дж. Уиллс</i>)	267
Ранние исследования	267
Дополнительные наблюдения	269
Слюноотделение	271
Прием пищи и жажда	272
Облегчение жажды	275
Выводы	279
Литература	280
Г л а в а XVI. Непроизвольное обезвоживание организма (<i>А. Ротштейн, Э. Адольф и Дж. Уиллс</i>)	281
Степени непроизвольного обезвоживания организма в полевых условиях	281
Некоторые факторы, влияющие на непроизвольное обезвоживание организма	283
Жажда как показатель обезвоживания организма	290
Принудительное питье — средство против непроизвольного обезвоживания	291
Восстановление нормального водного баланса в организме	294
Выводы	299
Литература	299
Г л а в а XVII. Возможная продолжительность существования в пустыне без питьевой воды (<i>А. Браун</i>)	300
Г л а в а XVIII. Потеря воды у людей, находящихся в спасательных резиновых лодках (<i>А. Браун, Р. Госселин и Э. Адольф</i>)	304
Условия опыта	305
Потоотделение	306
Влияние метеорологических условий	311

Изменения мочеотделения на начальных стадиях обезвоживания организма	312
Суточная потеря веса тела	313
Вычисление величины потери воды	314
Дождь как источник питьевой воды	316
Степень обезвоживания организма на море	317
Продолжительность существования без воды	319
Выводы	324
Литература	324
Глава XIX. Физиологическое состояние людей в условиях пустыни и тропиков (Дж. Молнар)	325
Сравнение климата тропиков и пустыни	325
Физиологическое выражение тепловой нагрузки	326
Физиологическая нагрузка организма в условиях пустыни и тропиков	331
Литература	335
Глава XX. Жизнь в пустыне (Э. Адольф)	336
Выносливость	336
Акклиматизация	339
Патологические состояния у людей в пустыне	345
Литература	347
Глава XXI. Выводы и заключения (Э. Адольф и А. Браун)	348
Обезвоживание организма	349
Общие выводы	351
Практические выводы	353
Литература	356

Страница	С
44	11
57	Подп
72	рис. 2
76	Та
102	3 с
120	11
127	6
128	1
239	9
275	14
285	Табл. мечан 21-
	14
Сб. статей	

Редактор И. В. Цоглина
 Технический редактор Б. И. Корнилов
 Сдано в производство 11 VIII 1952 г.
 Подписано к печати 29 X 1952 г.
 А07636. Бумага 60×92¹/₁₆ = 11,3 бум. л. — 22,6 печ. л.
 Уч.-изд. л. 22.9 Изд. № 4/1433
 Цена 17 р. 55 к. Зак. 619
 20-я типография «Союзполиграфпрома» Главполиграфиздага
 при Совете Министров СССР,
 Москва, Ново-Алексеевская, 52.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
44	11 сн.	10 час.	13 час.
57	Подпись под рис. 26, 4 сн.	в тени;	ночью;
72	Табл. 4, 3 столбец	144	14
76	11 св.	44	144
102	6 сн.	2—0	2
120	1 св.	12 см	120 см
127	9 св.	$\pm 4,3$ м.р. л	$\pm 4,3$ мм/л
128	14 сн.	4—7 л	4,7 л
239	Табл. 37, примечания, 8 св.	4,7%	4—7%
275	21—22 св.	1510 см ³ 3-процентного	1510 см ³ 0,3-процентного
		не есть сладостей или есть их только в небольших количествах.	не есть или есть только небольшое количество сладостей.
285	14—15 сн.	величина потоотделения, при которой наступал водный дефицит, была также выше	водный дефицит был также выше.

уменьш. чувств. палки - 16.

авар. пек - 19-20,

достоверность показаний испарителей
в состоянии дегидратации - 274

Температура баллона 2-ка - 15,85-89,

Температура газа - 88

Суточный ход t° - 135

Незатвердевшие испарители газа

с осадком - 88-89, 97.

t° и СС Система - 220

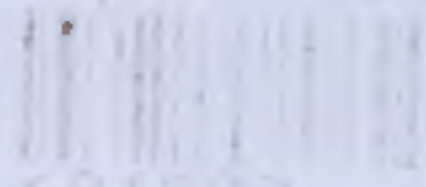
Вант-20 94 - 216

t° , минимальный и дегидратационный
эквиваленты ед. ед. кондукции - 230

Человек в пустыне - 2

ЧЕЛОВЕКА В ПУСТЫНЕ СБ
СТАТ РЕД АДЛЬФЯ КОРИЧ
ФИЗИОЛОГИЯ

Цена - 350.00

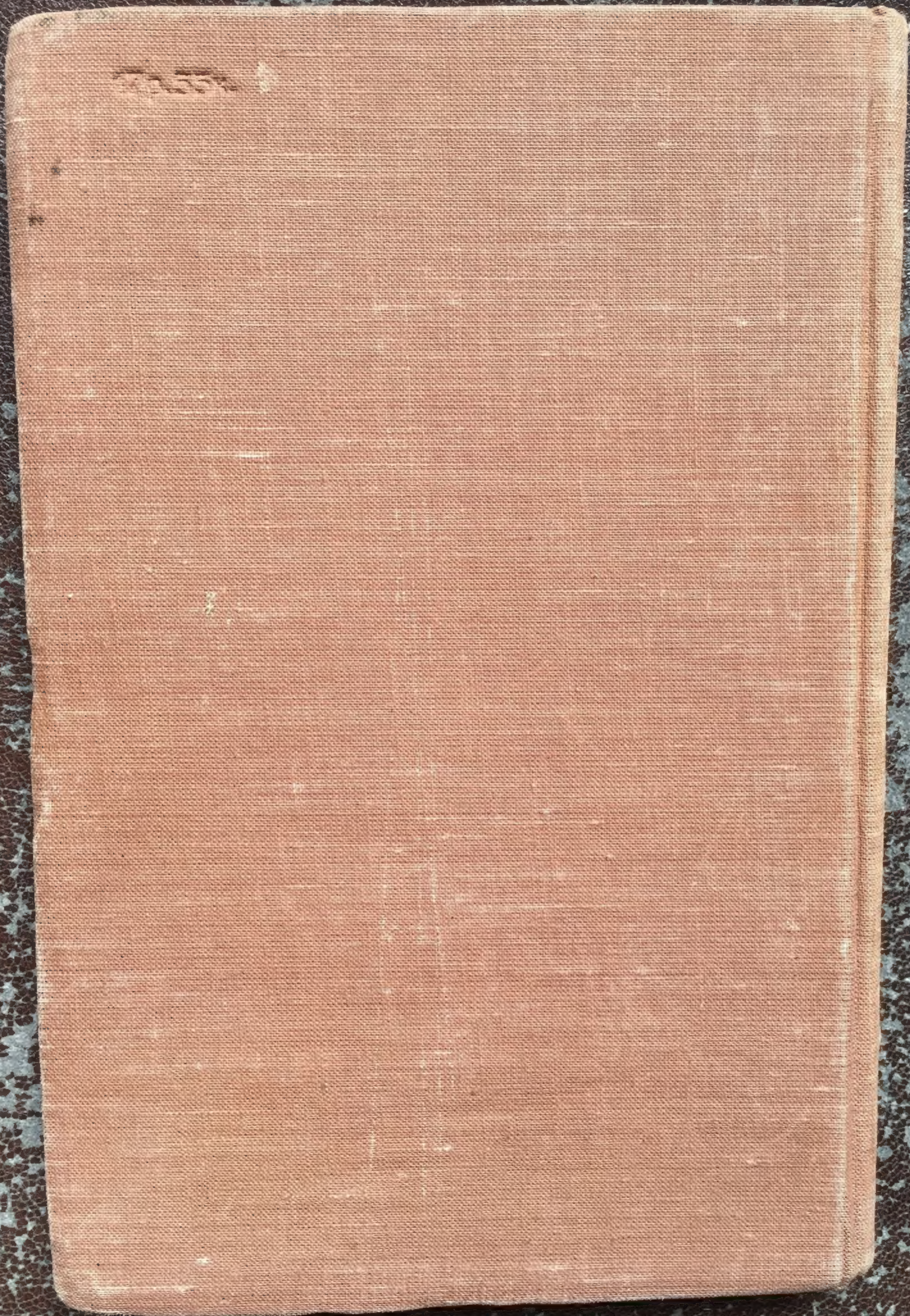


681002

18

30

4324 230





THE HISTORY OF THE ROMAN EMPIRE